

**Gestão e uso eficiente da água no Aproveitamento
Hidroagrícola da Lezíria Grande de Vila Franca de
Xira (AHLGVFX)**

Matilde Maria Beirão da Veiga de Bettencourt

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Agronómica

Orientador: Professor José Paulo Pimentel de Castro Coelho (interno/ISA)

Júri:

Presidente: Doutora Maria do Rosário da Conceição Cameira, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutor José Paulo Pimentel de Castro Coelho, Professor Associado com Agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, orientador;

Doutor Francisco Manuel Souto Gonçalves de Abreu, Associado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

Quero agradecer a todos os que me acompanharam ao longo deste percurso, e que de alguma forma me ajudaram neste trabalho, em particular:

Em primeiro lugar, ao meu orientador, Professor José Castro Coelho por toda a ajuda, empenho e disponibilidade durante estes meses.

À Eng. Catarina Madaleno e a todos os técnicos da Associação de Regantes de Vila Franca de Xira, que me ajudaram, disponibilizaram o seu tempo e facultaram os dados necessários a este trabalho.

A todos os meus amigos, em especial aos que fiz neste instituto, pela troca de ideias sobre esta dissertação, motivação e companhia. E a todos os funcionários e professores, por me terem feito crescer e acompanhado ao longo destes cinco anos.

À minha família, aos meus irmãos e, principalmente, aos meus pais, por tudo o que me proporcionaram até hoje.

Agradeço também a Deus por todas as oportunidades que tenho tido ao longo da vida e por todas as pessoas que por ela têm passado.

Resumo

O principal objetivo desta dissertação, consiste na tentativa de sensibilizar os agricultores para a problemática da água e do risco de seca, de modo a promover um uso mais eficiente e sustentável da água.

Sabendo da essencialidade da água para a vida, da sua provável escassez futura, e da grande percentagem utilizada pela agricultura, importa saber se a estamos a usar bem, i.e., eficientemente, e de forma útil, ou seja, eficazmente.

O caso de estudo desta dissertação é a Associação de Regantes da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira. Os dados usados referem-se às dotações registadas nas três culturas mais representativas daquela Associação - milho, tomate e girassol – e em duas campanhas consecutivas de rega – 2016 e 2017.

Paralelamente, com base nos dados meteorológicos locais e com o auxílio do programa CROPWAT 8.0, procedeu-se ao cálculo dos consumos hídricos teóricos para cada cultura e ano anteriormente referidos.

A partir do confronto dos dados obtidos nas duas etapas anteriores (dotações e necessidades teóricas de água) foi possível estimar uma série de indicadores relacionados com défices hídricos e de produção e eficiências de uso da água.

As principais conclusões que retirámos a partir deste estudo foram as seguintes:

- Observa-se uma ineficiência económica de aplicação de água de rega em todos os casos, sendo que a situação predominante é a da rega por defeito, à exceção do caso do milho por aspersão no ano 2017, em que o volume de água de rega excedeu o necessário em 258mm.
- As referidas ineficiências traduzem-se, consoante as culturas e os sistemas de rega, em perdas de produtividade compreendidas entre os 33% e os 50%. No caso particular em que se regou por excesso, o desperdício de água foi estimado em 258mm, ou seja, num desperdício de 35%.
- Tudo isto tem várias repercussões económicas negativas que variam desde os 190€.ha⁻¹ para o girassol aos 3408€.ha⁻¹ para o tomate.
- A situação aqui estudada aponta para a necessidade de melhorar a gestão da água tanto da Associação como dos agricultores.

Palavras-chave: Água, Dotações de rega, Eficiência, Necessidades hídricas teóricas, Rega.

Abstract

The main purpose of this dissertation is to sensitize the farmers to the issues regarding water and risk of drought, in order to promote a more efficient and sustainable use of water.

The awareness that water is essential to life and considering that it is a resource that will most likely lack for many people in the future and it is being extensively used for agriculture purposes, it is importance to know if it is being used efficiently.

The present study focuses on the Association of Irrigators of Lezíria Grande of Vila Franca de Xira. The used data regards the real consumption of water registered in the three most representative crops of that Association – corn, tomato and sunflower – and in two consecutive irrigation periods– 2016 and 2017.

Additionally, based on local meteorological data and using the software CROPWAT 8.0, the analytical water consumption was computed for each crop and each year, mentioned above.

By comparing the information obtained from the previous two steps (real and analytical water consumption), it was possible to estimate a series of indicators related to water consumption and production deficits, as well as efficiency in the use of water.

The main conclusions from this study were:

- Economics inefficiencies regarding the use of water and irrigation process were identified, with the predominant situation being the lack of irrigation, with the exception of the corn spray irrigation in 2017, in which the volume of the irrigation water exceeded the necessary amount by 258 mm.
- The above identified inefficiencies result, depending on the crops and irrigation systems, in a loss of productivity varying from 33% to 50%. In the particular case of over-irrigation, the waste of water was estimated to be 258 mm, meaning a 35% waste.
- All these issues have significant negative repercussions, going from 190€/ha in the case of the sunflower to 3408€/ha¹ for the tomato.
- The situation studied in this dissertation points to the need of an improvement in water use both from the Association and the farmers.

Key-words: Water, irrigation credits, Efficiency, Theoretical water needs, Irrigation.

Índice

Agradecimentos.....	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice	v
Lista de Quadros	vii
Lista de Figuras	ix
1. Introdução.....	10
2. O caso de estudo	11
2.1. Ocupação cultural do perímetro	11
3. Revisão bibliográfica	14
3.1. A importância da água.....	14
3.2. A rega em Portugal.....	16
3.3. Sistemas de rega relevantes para este trabalho.....	17
3.4. Balanço hídrico.....	18
3.5. Evapotranspiração.....	23
3.6. Curva dos coeficientes culturais.....	26
3.7. Coeficiente de sensibilidade da cultura à deficiência de água (k_y).....	27
3.8. Influência do solo na produção das culturas	28
3.9. A água no solo: movimento, retenção e absorção.....	30
4. Material e métodos	32
4.1. Dados das culturas	32
4.1.1. A cultura do milho.....	32
4.1.2. A cultura do girassol	32
4.1.3. A cultura do tomate	33
4.1.4. Duração do ciclo e das fases de desenvolvimento das três culturas relevantes para este trabalho.....	33
4.1.5. Valores dos coeficientes culturais para as três culturas relevantes para este trabalho	33
4.1.6. Valores de k_y para as três culturas relevantes para este trabalho.....	34
4.2. Dados edáficos.....	35
4.2.1. Descrição do tipo de solos, suas características e limitações	35
4.2.2. Granulometria dos solos.....	39
4.2.3. Salinidade dos solos.....	39
4.2.4. Alcalinidade dos solos	39
4.2.5. Condições de drenagem dos solos	40
4.2.6. Permeabilidade dos solos	40
4.2.7. Topografia dos solos	40
4.3. Dados climáticos	41
4.4. O programa usado – CROPWAT e respetivos dados de entrada	44
5. Resultados e análise	47
5.1 . Resultados do CROPWAT relativos à Cultura do Tomate nos anos de 2016 e 2017....	47
5.2 . Resultados do CROPWAT relativos à Cultura do Milho nos anos de 2016 e 2017	51

5.3.	Resultados do CROPWAT relativos à Cultura do Girassol nos anos de 2016 e 2017.....	55
5.4.	Dotações observadas das culturas nos anos de 2016 e 2017	59
6	Discussão e conclusões.....	64
7.	Referências bibliográficas	68
Anexos	Erro! Marcador não definido.

Lista de Quadros

Quadro 1 - Dotações de rega de referência (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹) para região sul (englobando o Ribatejo, o Alentejo e o Algarve) de acordo com o método de rega (DGADR).....	32
Quadro 2 - Duração do ciclo total e fases de desenvolvimento, em número de dias (ALLEN et al., 1998, adaptado de PEREIRA 2005).	33
Quadro 3 - Valores dos Coeficientes Culturais (ALLEN et al., 1998, adaptado de PEREIRA 2005).	34
Quadro 4 - Valores de Ky para as diferentes culturas (FAO, 1979).	34
Quadro 5 - Valores de Ky referidos no paper nº66 da FAO.....	35
Quadro 6 - Classificação do tipo de solos representativo para as parcelas em estudo.	39
Quadro 7 - Valores médios máximos e mínimos do teor de água no solo correspondentes à Capacidade de Campo (CC), por classe textural.....	40
Quadro 8 - Valores médios máximos e mínimos do teor de água no solo correspondentes ao Coeficiente de Emurchecimento (CE), por classe textural.....	41
Quadro 9 - Valores de Capacidade de Campo (CC) e Coeficiente de Emurchecimento (CE) usados.	41
Quadro 10 - Dados mensais da precipitação total e efetiva relativos ao ano de 2016.....	42
Quadro 11 - Dados meteorológicos mensais relativos ao ano de 2016	42
Quadro 12 - Dados meteorológicos mensais relativos ao ano de 2017	43
Quadro 13 - Dados mensais da precipitação total e efetiva relativos ao ano de 2017.....	43
Quadro 14 - Necessidades teóricas de irrigação para a cultura do tomate, nos anos de 2016 e 2017.....	48
Quadro 15 - Necessidades teóricas de irrigação para a cultura do milho, nos anos de 2016 e 2017.....	52
Quadro 16- Necessidades teóricas de irrigação para a cultura do girassol, nos anos de 2016 e 2017	56
Quadro 17 - Dotações de água para rega observados em diversas parcelas, no ano de 2016. .	59
Quadro 18 - Dotações de água para rega observados em diversas parcelas, no ano de 2017. .	59
Quadro 19 - Valores médios dotações de rega registados por cultura e por método de rega nos anos de 2016 e 2017.....	60
Quadro 20 - Estimativas das necessidades teóricas de água de rega por cultura e por método de rega nos anos de 2016 e 2017.....	60
Quadro 21 - Estimativas de défices (-) ou de excessos (+) de consumo de água de rega por cultura e por método de rega nos anos de 2016 e 2017.	61
Quadro 22 - Estimativas de perdas de produção por cultura e por método de rega nos anos de 2016 e 2017.....	62
Quadro 23 - Pressupostos de preços unitários dos produtos e do m ³ de água fornecida para rega.	62

Quadro 24 - Estimativas dos ganhos económicos previsivelmente alcançados através da satisfação integral das necessidades hídricas por cultura e por método de rega nos anos de 2016 e 2017.....	63
---	----

Lista de Figuras

Figura 1 - Ocupação cultural do perímetro da ABLGVFX na campanha de primavera-verão de 2016.....	12
Figura 2 - Ocupação cultural do perímetro da ABLGVFX na campanha de primavera-verão de 2017.....	13
Figura 3 - Rega gota-a-gota	18
Figura 4 - Rega por miniaspersão.....	18
Figura 5 - Pivot	18
Figura 6 - Esquema do balanço hídrico num volume de solo.....	21
Figura 7 - Delimitação das zonas de rendimento ótimo/ conforto hídrico e de carência hídrica. .	22
Figura 8 - Curva dos coeficientes culturais e definição dos períodos vegetativos correspondentes (adaptado de Allen et al., 1998).	27
Figura 9 - Variação da capacidade de campo e do coeficiente de emurchecimento com a textura do solo (adaptado de Botelho da Costa, 1985).....	29
Figura 10 - Carta de solos com indicação da localização das parcelas em estudo.	38
Figura 11 - Dados iniciais para a cultura do tomate em 2016 e 2017.	44

1. Introdução

O título deste trabalho é: “Gestão e uso eficiente da água no Aproveitamento Hidroagrícola da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira (AHLGVFX)”.

Os objetivos visados com este trabalho são a tentativa de sensibilizar os agricultores para a problemática da água e do risco de seca, de modo a inculcar-lhes a preocupação com o uso mais eficiente possível e com a busca de soluções para diminuir os consumos da água.

Para isso, iremos estudar a eficiência de uso da água das culturas mais significativas nesta área (tomate, milho e girassol), através da comparação entre os requisitos teóricos estimados pelo programa CROPWAT e as dotações de rega observados em diferentes parcelas, e tentar apontar algumas alternativas de gestão da água para os tempos de seca que se aproximam.

Os problemas/perguntas aos quais pretendemos responder são os seguintes:

- O que podemos inferir a partir da comparação das dotações de água com as necessidades teóricas de cada cultura? Será que a quantidade de água fornecida tem sido a adequada?
- Quais as opções técnicas e culturais que permitem um uso mais restrito e eficiente da água?
- Que alternativas, técnicas e culturais, é possível propor e implementar para alcançar um menor consumo de água?

Para endereçar estas questões decidimos seguir um percurso lógico e clássico envolvendo, para além desta introdução, as seguintes etapas: descrição geral do caso de estudo da AHLGVFX; revisão bibliográfica sobre o tema geral da água e particular da rega; materiais, envolvendo dados sobre culturas, solos e dados meteorológicos, e métodos/ferramentas usados neste trabalho; resultados e sua análise; discussão e conclusões; referências bibliográficas; anexos.

2. O caso de estudo

A Lezíria Grande de Vila Franca de Xira é uma faixa de terreno com uma forma alongada, situada a 25 Km a Norte de Lisboa, nos concelhos de Vila Franca de Xira e Azambuja. Está limitada pelos rios Tejo, Sorraia e Váu, a Norte e Poente, Leste e Nordeste, respetivamente, e ainda pelo Mar de Pedra a Sueste.

A área agrícola total estende-se por 13.420 hectares. Esta área encontra-se dividida aproximadamente a meio, pelo troço da Estrada Nacional nº 10, que liga Vila Franca de Xira ao Porto Alto. Desta divisão, resultam a Lezíria Norte com cerca de 6.000 hectares e a Lezíria Sul com cerca de 7.420 hectares. A água para a rega provém de várias captações localizadas nos rios Tejo e Sorraia. Tanto o baixo Tejo como o baixo Sorraia, nas épocas de seca, podem apresentar níveis de salinidade superiores aos exigidos para uma água de rega de qualidade, levando a que a adução seja feita nas portas, situadas um pouco mais a montante, dos rios.

A Associação de Beneficiários da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira (ABLGVFX), criada em 1990, é uma pessoa coletiva de direito público, exercendo a sua ação na zona denominada de “Lezíria Grande de Vila Franca de Xira”. Depois de aprovado o contrato de concessão para a gestão do Aproveitamento Hidroagrícola da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira (AHLGVFX), em 2009, esta associação de beneficiários contraiu um conjunto acrescido de responsabilidades, quer para com o estado português, quer para com os empresários agrícolas daquela área, sendo, agora, responsável por gerir um vasto conjunto de equipamentos e infraestruturas.

A sua missão é a de:

- disponibilizar água para rega e garantir condições de defesa e drenagem que propiciem a máxima qualidade e o menor custo ao funcionamento das empresas instaladas no AHLGVFX;
- contribuir para o melhor funcionamento das empresas agrícolas da sua área de influência, fornecendo-lhes um conjunto integrado e inovador de serviços e produtos e dando-lhes a hipótese de aumentar a sua competitividade no mercado.

2.1. Ocupação cultural do perímetro

As duas figuras seguintes retratam a ocupação cultural, nas campanhas de primavera-verão dos anos de 2016 e 2017, no seio da Associação de Beneficiários da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira (ABLGVFX).

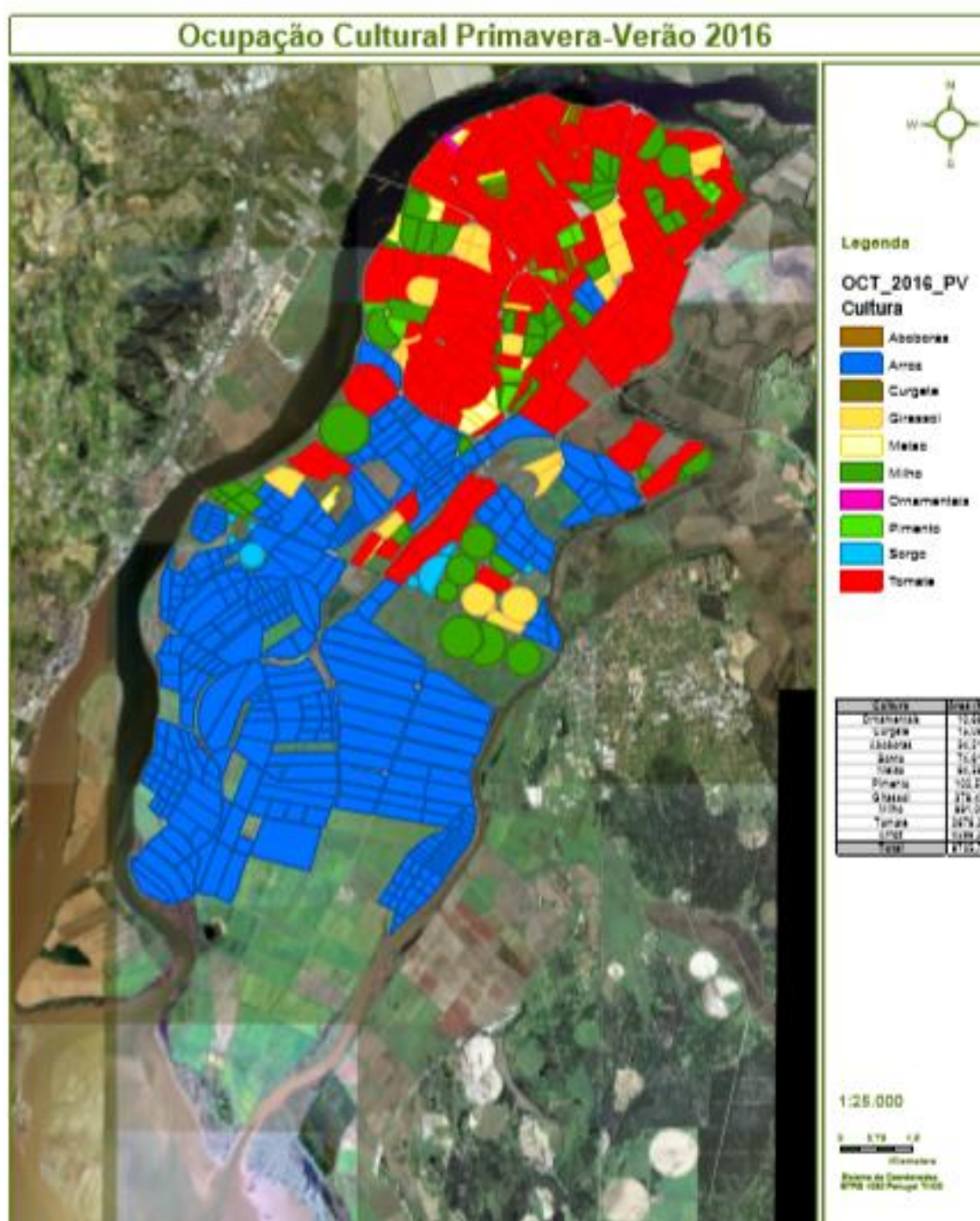


Figura 1 - Ocupação cultural do perímetro da ABLGVFX na campanha de primavera-verão de 2016.

Ocupação Cultural Primavera-Verão 2017

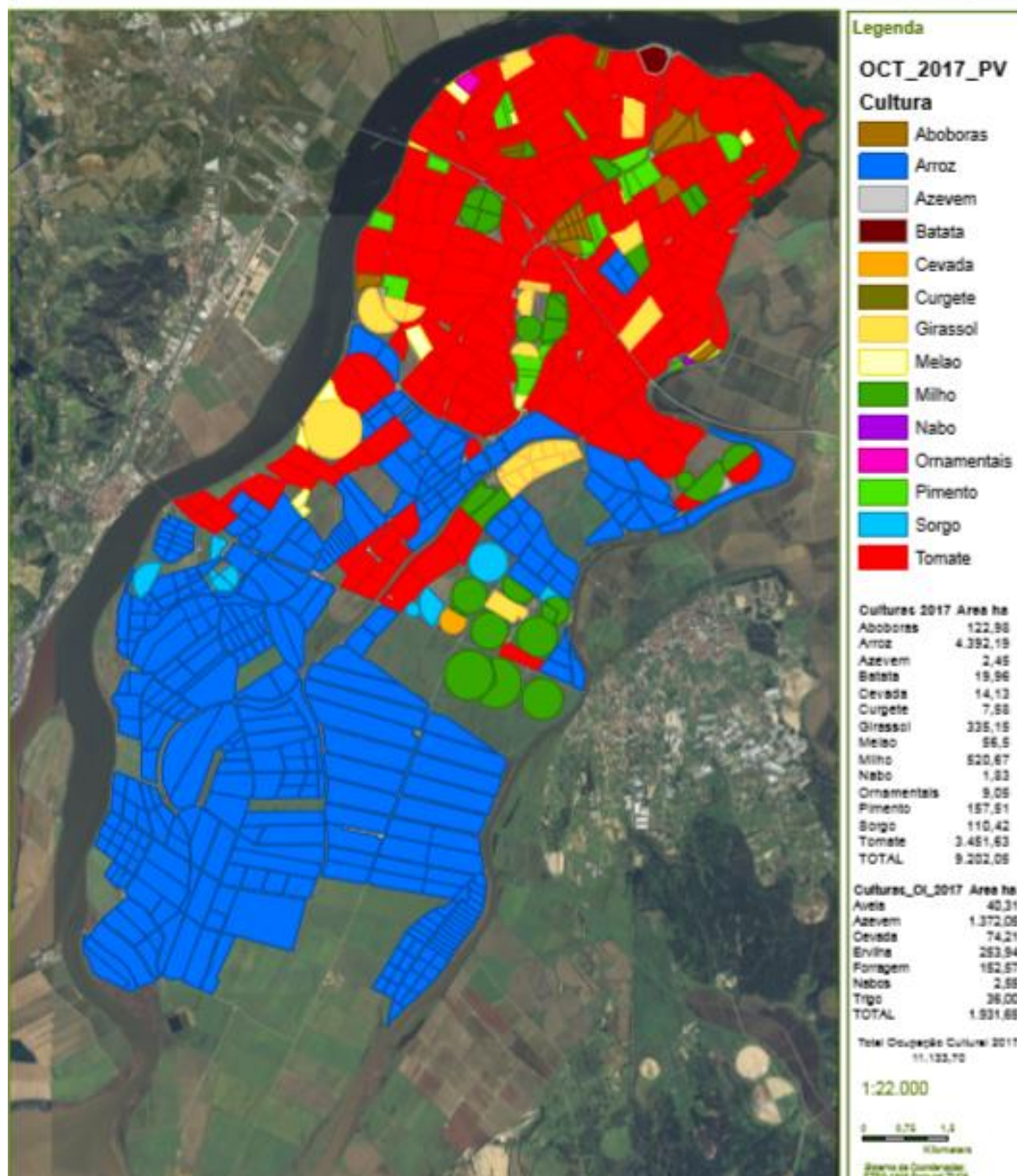


Figura 2 - Ocupação cultural do perímetro da ABLGVFX na campanha de primavera-verão de 2017.

Através da observação das duas figuras anteriores podemos concluir que as culturas dominantes são o Tomate, o Milho e o Girassol na Lezíria Norte, e o arroz na Lezíria Sul.

3. Revisão bibliográfica

3.1. A importância da água

*Água, água em toda parte,
E todas as pranchas se contraíram;
Água, água em toda parte,
E nem uma gota para beber.*

(Coleridge and Muller, 1946)

A água é o composto mais abundante da terra e, nos tempos de hoje, um bem escasso, sendo ínfima a percentagem de água que pode ser diretamente utilizada pelo Homem.

Em termos económicos, a escassez de um bem ocorre quando a sua procura é maior do que a sua oferta, num determinado mercado. Neste contexto, quando se comparam as necessidades com as disponibilidades de um determinado bem, e a procura é superior à oferta, fala-se, então, em escassez (Branco, 2018).

O excerto do poema referido, remete-nos para a ironia da falta de água doce, pois, apesar de vivermos rodeados de água pelos oceanos, nem uma gota serve para nos saciar. No nosso planeta existem cerca de 1400 milhões de Km³ de água, dos quais: 97,5% é salgada; 1,76% é neves, glaciares e camadas de gelo; 0,34% está armazenada no subsolo; e apenas 0,4% é água doce, que se vai tornando cada vez mais escassa. Uma das perguntas imediatas do cidadão comum é: “Porque não se tira o sal da água do mar?”; a resposta é que é possível - países carentes de água e ricos, como os Estados Unidos a Arábia Saudita ou Israel, já o fazem – mas o processo de dessalinização ainda tem elevados custos económicos e grande impacto ambiental, não sendo, por isso, a primeira opção.^o

Cada dia, devemos ser mais sensibilizados para a poupança de água. Isto, em qualquer circunstância da vida, uma vez que sem água a vida, simplesmente, não é possível. A água é um bem essencial indispensável ao homem e a outros seres vivos, suporte dos ecossistemas e fator de produção limitante e de grande valor, já que dela dependem grande parte das atividades de produção (Branco, 2018).

Os depósitos de água doce estão em sobre-exploração, podendo levar muito tempo a recuperar e reequilibrar o ciclo da água. Para além do consumo global de

água estar a aumentar, por força do crescimento da população mundial e por uma má utilização do recurso, a poluição das fontes é também um problema. Ou seja, as grandes razões da crescente escassez de água são: a expansão demográfica; o desenvolvimento dos consumos agrícolas e industriais; as alterações climáticas (crescente irregularidade da distribuição das chuvas, maior frequência de baixas quedas pluviométricas, excessivos alongamentos das estações secas, ...); e as ações de desflorestação e sobrepastoreio (aumentam os fenómenos de erosão, reduzem a capacidade de retenção de água do solo e a recarga e encaixe de aquíferos superficiais e subterrâneos).

A produção de alimentos e o uso de água estão intimamente relacionados, sendo este o principal fator que limita a produção agrícola em vastas zonas do globo (FAO, 2012). O setor agrícola é o maior consumidor de água doce, tanto à escala global como nacional (Selborne, 2002), e, segundo o PNA, é responsável por cerca de 75% do consumo deste recurso em Portugal. Este setor é, também, responsável pela produção da esmagadora maioria dos alimentos para a Humanidade, sendo que de acordo com a WWC (2015) e a FAO (2012), a produção de bens agrícolas terá de aumentar mais de 50% para satisfazer as necessidades alimentares dos quase 10 mil milhões de pessoas que existirão na terra em 2050. Estima-se que a população mundial aumente 33% entre 2010 e 2050 (OCDE, 2012), com a população residente em áreas urbanas a duplicar (UNDESA, 2011).

Sendo, pois, impensável dispensar a agricultura, só podemos e devemos tentar torná-la o mais eficiente e sustentável possível. Nesta perspetiva, é crucial otimizar o uso da água em geral e na agricultura em particular.

Estamos perante alterações climáticas a uma escala global, observando-se o aumento de temperatura, da concentração de CO₂ e modificações na precipitação. Tudo isto, afeta não só a quantidade como a qualidade da água doce. Em Portugal, acabámos o ano de 2017 com períodos demarcados por seca severa, e o pior é que o cenário tende a agravar-se ao longo dos próximos anos (IPMA, 2017).

As alterações climáticas são responsáveis por diversos impactos na agricultura, particularmente sentidos em alguns dos seguintes aspetos:

- Datas de ocorrência dos estados fenológicos;
- Crescimento e produção das culturas;
- Uso da água e necessidades hídricas das culturas;

- Necessidades de rega. (Pereira & Melo e Abreu, 2010).

Posto isto, uma das consequências das alterações climáticas na agricultura de regadio, será uma enorme necessidade de melhoria na eficiência dos sistemas de rega, tanto ao nível da parcela como na gestão das massas de água (subterrâneas e superficiais). Face a este problema, os principais objetivos devem ser: o reforço da segurança da disponibilidade de água; a gestão da procura de água, e; o aprofundamento do conhecimento (Silva, 2016).

Agora, mais que nunca, medidas contra o uso abusivo de água terão de começar. Terá de haver uma seleção de culturas mais cuidada. O mercado não poderá ser o único fator de escolha, devendo o consumo hídrico das culturas, bem como o desempenho dos sistemas de rega, serem tidos em grande conta.

Todos os perímetros regados têm estado sujeitos a uma crescente pressão para tornar mais eficiente o uso da água, através, nomeadamente, da redução de perdas e substituição de tecnologias de rega menos eficientes (gravidade) por mais eficientes (localizada). A falta de condições financeiras das associações de regantes, podem ser um grave entrave para a concretização destas medidas.

A compreensão e caracterização dos processos de seca é essencial para proporcionar o desenvolvimento de medidas adequadas à convivência com a escassez de água. O que é a seca? Seca é um desequilíbrio temporário, de duração indefinida e natural na disponibilidade de água, que deriva da ocorrência de precipitação persistentemente abaixo da média. As secas são imprevisíveis, tanto no que se refere ao seu início como ao seu final (Pereira *et al.*, 2010).

3.2. A rega em Portugal

O clima prevalecente em Portugal é do tipo mediterrânico, sendo o ano dividido em dois períodos distintos: o período invernal, de outubro a abril, frio e chuvoso, onde, geralmente, ocorre um excesso hídrico, e; o período estival, de maio a setembro, quente e seco, onde ocorre, quase sempre, um défice hídrico. É neste segundo período onde a rega toma lugar.

Uma vez que estamos perante anos atípicos no que respeita ao clima, estes excessos hídricos já não estão a ocorrer (Raposo, 1989).

A rega é uma operação de fornecimento de água ao solo, com o objetivo de melhorar as condições de vegetação das plantas cultivadas (Raposo, 1989). Uma rega suficiente e eficiente é feita no momento oportuno, com a quantidade adequada e

durante um tempo certo. Daqui nascem as três questões do Quando? Quanto? e, Como regar? cuja resposta conduz a uma condução eficiente e eficaz da rega.

É, portanto, necessário conhecer as necessidades hídricas ao longo do ciclo de crescimento das culturas, as características de retenção de água dos solos e os métodos de rega a utilizar para avaliação das dotações de rega a aplicar (Ramos *et al.*, 2016).

A rega é caracterizada pelos seguintes parâmetros:

- Dotação de rega: é o volume de água a aplicar em cada rega, que permita manter o teor de água no solo e que reponha os consumos realizados pela cultura. Avalia-se em m³/ha ou em mm. Este parâmetro depende de vários fatores como a natureza do terreno, o método de rega (a sua eficiência) e a cultura que se pretende regar;
- Intervalo de tempo entre regas: este parâmetro depende dos fatores anteriormente referidos e, ainda, das características climáticas do local (exprime-se, normalmente, em dias);
- Intensidade da rega: refere-se à quantidade de água que se distribui no solo por unidade de tempo, expressa em mm/hora. Depende, principalmente, da taxa de infiltração ou de permeabilidade da água no solo (que é função da sua textura e estrutura) e do declive do terreno;
- Tempo útil de rega: depende de todos os fatores anteriormente mencionados e, em especial, do tipo de sistema de rega e, embora com menos importância, da natureza do terreno e do tipo de cultura (Rasquilho Raposo, 1989).

3.3. Sistemas de rega relevantes para este trabalho

- Rega localizada: caracterizada por aplicações frequentes de pequenos volumes de água, junto das plantas e à superfície ou em profundidade. A água aplicada humedece apenas parte do solo, onde se encontram as raízes. A água é aplicada sobre pressão por meio de uma rede de condutas com dispositivos apropriados denominados por emissores. A pressão de passagem da água nas condutas é baixa (0,15 a 2 atmosferas), (Raposo, 1989).

Existem dois tipos de rega localizada:

- A rega gota-a-gota, onde se utilizam gotejadores que libertam caudais de 2 a 12 l/h a certos pontos do terreno (figura 3);
- A rega por miniaspersão, onde se utilizam caudais maiores (20 a 150l/h) debitados por cada microaspersor em superfícies pequenas do terreno normalmente de forma circular (figura 4).



Figura 3 - Rega gota-a-gota



Figura 4 - Rega por miniaspersão



Figura 5 - Pivot

- Rega por aspersão: caracterizada por aspersores que debitam caudais superiores a 500l/h, sob a forma de chuva. A pressão de funcionamento é variável de baixa (< 2,5 kg.cm⁻²), média (2,5 a 5 kg.cm⁻²), a alta (> 5 kg.cm⁻²) (Raposo, 1989). (1atm = 1,0336 Kg/cm²). Dentro da aspersão existe:
 - O sistema de rega por pivot que é o método mais usado para a cultura do milho em Portugal, permite obter uma maior eficiência de distribuição de água. O se não deste método são os elevados custos de instalação e consumos de energia (Branco, 2018).
- Rega por submersão de canteiros: onde ocorre alagamento do canteiro, com fundo plano ou com pouco declive, até altura adequada durante determinado tempo. A submersão permanente é característica da cultura de arroz, onde a água para além de suprir as necessidades hídricas, também tem um papel de regulador térmico, protegendo as plantas das baixas temperaturas. Este processo é o mais indicado para solos de textura argilosa que são pouco permeáveis e retêm bem a água.

3.4. Balanço hídrico

- O conhecimento do balanço hídrico do solo na zona explorada pelas raízes é fundamental para uma boa gestão da água em regadio.

- O Balanço Hídrico é o resultado entre a quantidade de água que entra e que sai num determinado volume de solo num certo intervalo de tempo. O balanço hídrico de um solo agrícola está intimamente dependente das condições meteorológicas, das características do solo e também da vegetação existente. Este conceito avalia o solo como um reservatório, em que recebe água da precipitação, da rega e da ascensão capilar, e perde água através da evaporação do solo e das plantas, da transpiração cultural, do escoamento superficial e/ou da percolação profunda (figura 6). O conhecimento deste balanço é crucial para uma gestão eficiente da água em regadio. O problema muitas vezes imposto ao agricultor é o de saber quanto e quando regar, de modo a manter a cultura em conforto hídrico, sem regar de mais ou de menos.
- O balanço hídrico do solo consiste em contabilizar todas as entradas e saídas de água no reservatório solo.
- Considerando uma camada de solo com profundidade z em metros (m), durante um período de duração Δt , a equação do balanço hídrico é dada por;

$$\Delta S = P + Rg + Ac - Dr - Es - ET_c$$

Onde;

ΔS – variação do armazenamento de água no solo,

P – Precipitação,

Rg – Rega,

Ac – Ascensão capilar,

Dr – Percolação profunda,

E_s – escoamento superficial,

ET_c – Evapotranspiração cultural.

A precipitação pode assumir a forma de chuva, granizo, neve, geada e orvalho. A irrigação é utilizada quando a água precipitada não é suficiente para compensar a água perdida por evapotranspiração (Allen *et al.* 1998).

A ascensão capilar é o movimento vertical de água contrário ao sentido da força da gravidade, de uma zona saturada do solo para uma zona não saturada. Esta

água pode estar disponível para a evapotranspiração. A influência deste termo no balanço hídrico do solo depende da profundidade da zona saturada, ou nível freático. (Ramos, 2011).

A percolação profunda, traduz o movimento de água nos solos saturados ou perto disso, quando a quantidade de água infiltrada é maior que a capacidade de absorção no solo.

O escoamento superficial, é o fluxo de água que escorre na superfície do solo quando o solo se encontra saturado.

A evapotranspiração engloba as perdas de água para a atmosfera, sob a forma de vapor, decorrentes da transpiração das plantas e da evaporação da água presente no solo. Influenciada pela radiação solar, velocidade do vento, temperatura e humidade do ar. O conteúdo de água no solo é um fator limitante da evapotranspiração, esta só ocorre até se atingir o ponto de emurchecimento. (Ramos, 2011).

A capacidade de campo (CC) pode definir-se como o teor de humidade retido pelo solo quando, depois de ter cessado o movimento gravitacional, o movimento de água capilar decresce substancialmente. Deve medir-se diretamente no terreno, desde que não haja impermes nem seja encontrada toalha freática a menos de 2 metros de profundidade, limitando-se um pequeno talhão onde se adiciona água, cobrindo a superfície do solo de modo a impedir a evaporação e, passadas 48 horas, colhem-se amostras para determinação de humidade. A CC é expressa por um teor de água a 1/3 atm e pF 2, 54, (Costa, 1955).

O coeficiente de emurchecimento (CE) corresponde à percentagem de humidade do solo para a qual o abaixamento do ponto de congelação é de 1,259°C, o que corresponde a uma tensão da água do solo equivalente a 16 atmosferas expressa por pF 4,2, (Costa, 1955).

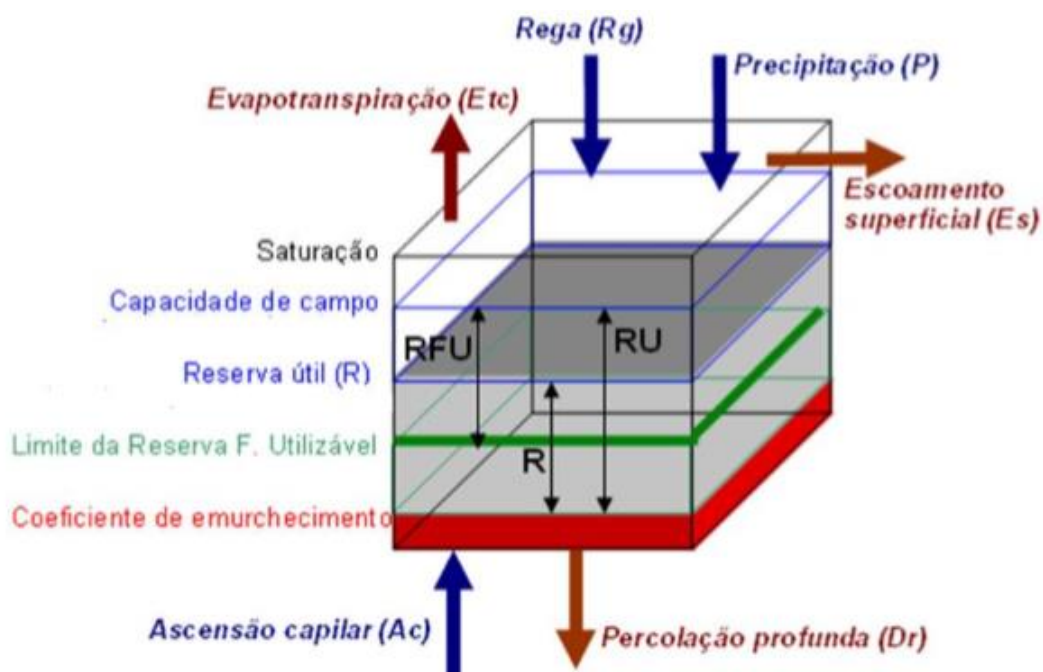


Figura 6 - Esquema do balanço hídrico num volume de solo.

Tendo em conta que a condução da rega é feita de uma forma precisa e que as parcelas a beneficiar são adequadas ao regadio, os termos Dr (percolação profunda) e E_s (escoamento superficial) podem ser desprezados, o que permite simplificar a equação do balanço hídrico para:

$$\Delta S = P + Rg + Ac - Etc$$

A entrada de água no solo é determinada pelo somatório da precipitação, dotação de rega e ascensão capilar. A quantidade de água fornecida à cultura através da precipitação é um dado fornecido pela estação meteorológica, que, neste caso, se situa na Associação de Regantes de Vila Franca de Xira, (dados meteorológicos da Estação Meteorológica da Figueirinha). A saída de água é calculada pela evapotranspiração (evaporação da água no solo e a transpiração das plantas).

Na figura 6 destaca-se, ainda, a reserva utilizável (RU), que é a reserva máxima de água no solo em milímetros.

$$RU = (CC - CE) \times 10^3 \times z$$

Onde CC e CE , são denominados por capacidade de campo e capacidade de emurchecimento, respetivamente, sendo a última também conhecida como a percentagem mínima para crescimento das plantas. A capacidade utilizável (U) é representada pela diferença entre CC e CE ($U = CC - CE$), expressas em percentagem

(%). Em regadio, é vantajoso que a capacidade utilizável seja grande, permitindo uma melhor gestão e menor número de regas.

z (m) é a profundidade da camada explorada pelo sistema radicular.

No entanto, considera-se que apenas uma parte da água retida pelo solo é utilizada facilmente pelas plantas, estabelecendo-se, assim, a chamada reserva de água facilmente utilizável (RFU), calculada com uma fração da reserva utilizável.

$$RFU = RU \times p$$

Onde p é o parâmetro de gestão de rega.

Durante a realização do balanço hídrico do solo são consideradas três zonas distintas, na variação do teor de humidade do solo (figura 7), são elas:

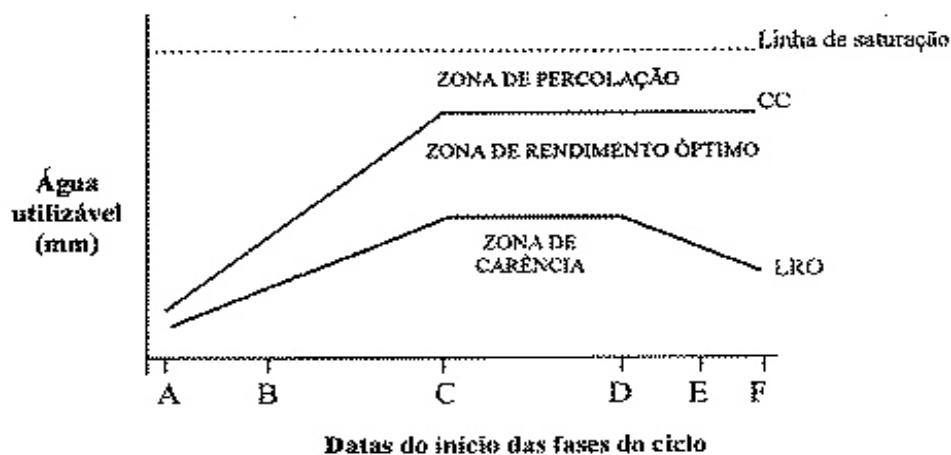


Figura 7 - Delimitação das zonas de rendimento ótimo/ conforto hídrico e de carência hídrica.

- Linha de saturação: onde a água já não é imediatamente utilizável;
- Zona de percolação: em que o teor de humidade do solo está acima da capacidade de campo (CC) e toda a água acima deste parâmetro é perdida por percolação;
- Zona de rendimento ótimo: corresponde à reserva de água facilmente utilizável (RFU) pelas plantas, zona entre a capacidade de campo e o limite da reserva facilmente utilizável (LRFU);
- Zona de carência: zona entre LRFU e o CE, nesta zona a planta diminui a sua evapotranspiração à medida que o solo vai perdendo água. A água do solo é assim, dificilmente utilizável pelas plantas.

O Balanço Hídrico foi, primeiramente, desenvolvido por Thornthwaite e Mather em 1955 com o objetivo de determinar o regime hídrico de um local, sem ter de se fazer medições diretas do solo. Apenas é necessário saber qual o armazenamento máximo do solo, o total de precipitação e a estimativa da evapotranspiração de referência em cada período. Thornthwaite define evapotranspiração de referência como sendo, a quantidade de água que poderá passar para a atmosfera, diretamente ou através das plantas, se a humidade existente no solo estiver sempre disponível, em quantidade suficiente. Com estes três dados consegue-se calcular a evapotranspiração real (soma total da transferência de vapor de água para a atmosfera que é evaporada pela superfície e transpirada pelas plantas nas condições atuais de parâmetros atmosféricos, humidade do solo e condições das culturas). Consegue-se também saber se estamos perante excesso ou escassez de água, avaliando o défice hídrico, representado pela diferença entre a evapotranspiração de referência e a real (Pereira, 2018).

3.5. Evapotranspiração

A ET_0 , denominada Evapotranspiração de referência, é a evapotranspiração registada num determinado local, tendo em conta uma cultura de referência. Representa a taxa pela qual a água pode ser removida do solo e da planta, como altura de água por unidade de área, (Oliveira, 2011). Genericamente, a cultura de referência é um coberto de relva, visto que sendo constituída por um coberto vegetal de altura baixa e denso e com resistência de superfície constante, torna a medição da evapotranspiração mais eficiente e real. Para esta cultura de referência assume-se uma altura do coberto de 0,12 m, uma resistência de superfície constante de 70 s/m e um albedo de 0,23, muito semelhante à evapotranspiração de uma extensa superfície de relva verde com altura uniforme, crescendo ativamente, cobrindo totalmente o solo e bem abastecida em água (Pereira, 2004).

Para o cálculo da ET_0 iremos usar o método de Penman-Monteith e os dados climáticos da estação meteorológica da Lezíria de Vila Franca de Xira.

A determinação da evapotranspiração cultural (ET_c) obtém-se através do produto da evapotranspiração de referência (ET_0), pelo coeficiente cultural (K_c) variando, obviamente, de cultura para cultura. O K_c é um valor tabelado existente para todas as culturas, definido para diferentes fases do ciclo cultural, a inicial, intermédia e final.

O seu conhecimento é um valioso contributo para estimar as necessidades hídricas das culturas com aplicações óbvias no domínio da gestão da água em agricultura. A necessidade de água de uma cultura corresponde à procura evapotranspirativa num certo ambiente. Para a rega essas necessidades são estimadas através do balanço hídrico do solo cultivado (Pereira, 2004).

A evapotranspiração cultural é a evapotranspiração que ocorre numa determinada cultura, num certo momento do seu desenvolvimento. Influenciada por fatores como, o estágio do ciclo da cultura, o estado de humedecimento da superfície do solo, condições ambientais e de gestão, (Oliveira, 2011).

O coeficiente cultural (K_c) representa a relação entre ET_c e ET_0 . Este coeficiente incorpora vários fatores que afetam a evapotranspiração, como os efeitos da cultura, do seu estágio de desenvolvimento cultural, densidade das plantas entre outros. (Oliveira, 2011).

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0}$$

Logo,

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

As necessidades em água de rega (N_a), é a quantidade de água necessária para repor no solo a água perdida por evapotranspiração de uma cultura sã, em ótimas condições fitossanitárias, bem fertilizada, desenvolvendo-se em grandes áreas, sem restrições hídricas e atingindo a produção ótima sob determinadas condições climáticas (Allen et al., 1998).

$$N_a = ET_c - P_e$$

Sendo:

ET_c – evapotranspiração cultural [mm dia^{-1}],

ET_0 – evapotranspiração de referência [mm dia^{-1}],

K_c – coeficiente cultural [adimensional],

N_a – necessidade em água de rega [mm],

P_e – precipitação efetiva, representa a fração da precipitação que é útil para a cultura [mm].

- Método de Penman-Monteith

De acordo com a Allen *et al.*, (1998), o método aconselhado, e o que vamos utilizar para o cálculo da ET_0 , é o método da FAO de Penman-Monteith, que utiliza a combinação de duas componentes: a radiação (energia) e a aerodinâmica (vento e humidade). Baseia-se na utilização da equação de Penman-Monteith:

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$$

Onde:

ET_0 – evapotranspiração de referência [mm dia^{-1}],

R_n – radiação líquida à superfície da cultura [$\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$],

G – densidade do fluxo de calor do solo [$\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$],

T – temperatura média do ar a 2m de altura [$^{\circ}\text{C}$],

U_2 – velocidade do vento a 2m de altura [m s^{-1}],

e_d – tensão de vapor de saturação [KPa],

e_a – tensão de vapor real [KPa],

$e_a - e_d$ – défice de saturação [KPa],

Δ – declive da curva de pressão de vapor [$\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$],

γ – constante psicrométrica [$\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$],

O cálculo da ET_0 e ET_c encontra-se muito facilitado com o recurso a programas informáticos. Exemplo disso é o programa CROPWAT, que iremos utilizar para esse fim.

O CROPWAT foi desenvolvido pela FAO para planear e gerir a irrigação. Este programa tem o fim de calcular as necessidades hídricas das culturas, e as suas respetivas necessidades de rega, tomando em consideração as características do solo, do clima e da cultura. O CROPWAT é baseado na teoria expressa na publicação da FAO nº56, *Crop Evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements* (FAO, 1979), e na FAO nº33, *Yield response to water*, (FAO, 1998). A versão mais recente do programa é a CROPWAT 8.0, que usa o método de Penman-Monteith para

calcular a evapotranspiração de referência, com base nos dados climáticos mensais. Os dados de inicialização do programa comportam a: temperatura máxima, média e mínima do ar; humidade relativa do ar; número de horas de sol; velocidade do vento; precipitação; tipo e características do solo; tipo e características da cultura (K_c). Depois de todos estes dados inseridos, o CROPWAT calcula automaticamente os resultados mostrando gráficos e tabelas interpretativos.

3.6. Curva dos coeficientes culturais

A curva dos coeficientes culturais caracteriza tipicamente o desenvolvimento de uma cultura anual, desde a sementeira ou plantação até à colheita, sendo que as mudanças na forma da curva acompanham o desenvolvimento e a senescência da cultura, como se pode observar na figura 8. O ciclo cultural será dividido em quatro fases distintas como mostra a figura abaixo. As fases são:

- Estádio inicial – fase de germinação e crescimento primário, enquanto que a cobertura do solo pela folhagem é menor que 10%;
- Estádio de desenvolvimento ou de crescimento rápido – desde o fim da fase anterior até atingir uma cobertura do solo de 70-80%;
- Estádio intermédio – desde o fim da fase anterior até ao início da maturação, indicado pela mudança de coloração das folhas;
- Estádio final – desde o final do estágio anterior até a maturação completa ou à colheita.

Definidos os estádios de desenvolvimento serão posteriormente escolhidos para o estágio, inicial, intermédio e final os valores de $K_{c\text{ ini}}$, $K_{c\text{ mid}}$ e $K_{c\text{ end}}$, ajustados a cada fase, (Oliveira, 2011). Ao saber o valor de K_c e a duração de cada fase do ciclo da cultura será construída uma curva do tipo da representada na figura 8.

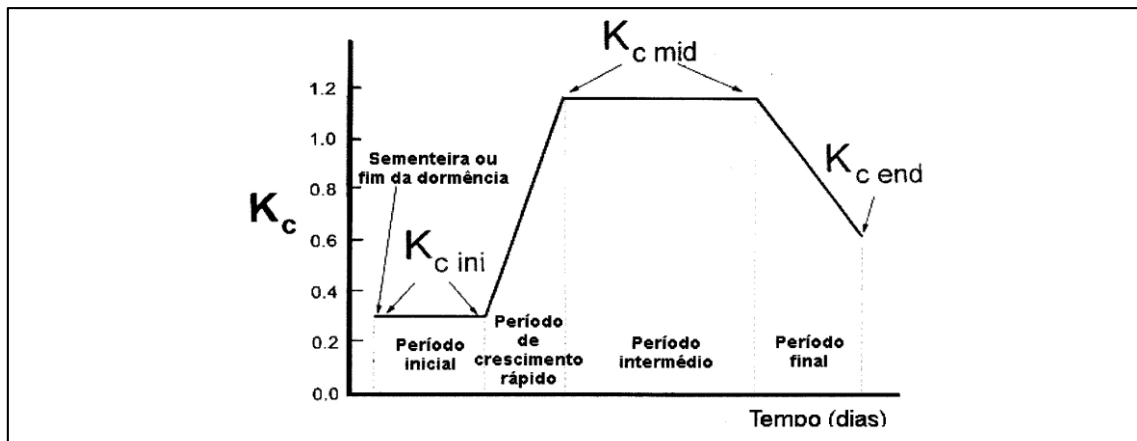


Figura 8 – Curva dos coeficientes culturais e definição dos períodos vegetativos correspondentes (adaptado de Allen *et al.*, 1998).

3.7. Coeficiente de sensibilidade da cultura à deficiência de água (K_y)

Para se obter uma ótima produção deve conhecer-se a resposta do suprimento de água sobre o rendimento, a qual, é quantificada pelo fator de resposta da cultura (K_y) que relaciona a queda de rendimento relativo com déficit de evapotranspiração relativa (Doorenbos e Kassam, 1994).

Os valores de K_y são específicos para cada cultura e variam durante o período de crescimento (FAO 66, 2012).

O Coeficiente de sensibilidade da cultura à deficiência de água (K_y), também chamado de fator de resposta da cultura ao déficit hídrico, é um coeficiente que estabelece uma relação de proporcionalidade entre o déficit relativo de evapotranspiração ($1 - \frac{ET_c}{ET_{c\ adj}}$) e a perda relativa de produção ($1 - \frac{P_a}{P_m}$). Valores de K_y inferiores a 1, indicam que a cultura em questão é mais tolerante ao stress hídrico. Valores de K_y maiores que 1, indicam que a cultura em questão é muito sensível ao stress.

$$\left(1 - \frac{P_a}{P_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_c}{ET_{c\ adj}}\right)$$

Onde,

P_a – produção atual ou real para um dado nível de água no solo [kg/ha];

P_m – produção máxima [kg/ha];

ET_c – evapotranspiração cultural [mm/dia];

$ET_{c\ adj}$ – evapotranspiração cultural ajustada em função do déficit de humidade do solo [mm/dia].

Esta equação estabelece a relação entre o rendimento do cultivo e o uso da água, mais concretamente, expressa a resposta do rendimento à evapotranspiração. O fator de resposta ao rendimento (K_y) capta a essência desta relação, onde ocorrem processos biológicos, físicos e químicos, (FAO, 2012).

3.8. Influência do solo na produção das culturas

O solo é um recurso natural limitado e facilmente degradável e perecível. É importante conhecer as suas características para garantir a sustentabilidade do seu uso (Ramos *et al.*, 2016).

O solo é o material não consolidado, mineral ou orgânico, existente à superfície da terra e que serve de meio natural ao desenvolvimento das plantas. A sua fase sólida é constituída pelas partículas minerais e orgânicas do solo, cujo arranjo, organização e orientação formam um meio poroso que permite a retenção e a transferência de água (fase líquida) e gases (fase gasosa) no solo. A humidade do solo ou teor de água do solo é um dos fatores determinantes da produtividade das culturas (Ramos *et al.*, 2016).

A rega é crucial para o aumento da capacidade produtiva dos solos, tendo esta que ter em atenção as características do solo relacionadas com a retenção de água no solo, nomeadamente, os valores da capacidade de campo e do coeficiente de emurchecimento e da água facilmente disponível para as plantas.

Os parâmetros físicos que interferem na capacidade produtiva dos solos são:

- Textura;
- Estrutura;
- Teor de matéria orgânica;
- Espessura;
- Movimento e a retenção da água no solo.

Textura

A textura do solo é uma propriedade intrínseca do solo que se refere, precisamente, às proporções relativas de areia, limo e argila nele existentes (partículas com dimensão inferior a 2 mm).

A fração granulométrica mais fina formada pelos minerais de argila (partículas de dimensão inferior a 0,002 mm) tem um papel de relevo no comportamento do solo uma vez que constitui a sua fração ativa. O seu teor assim como a natureza dos minerais de argila (em particular aqueles de natureza expansível) determinam a forma como certas propriedades se manifestam no solo, tais como a capacidade de armazenamento de água, o arejamento necessário para o metabolismo das raízes, a absorção de água pelas raízes, a estabilidade dos agregados, a capacidade de troca catiónica e a coesão.

Os solos de textura grosseira, ao contrário dos de textura pesada, apresentam uma menor capacidade de retenção de água no solo (figura 9).

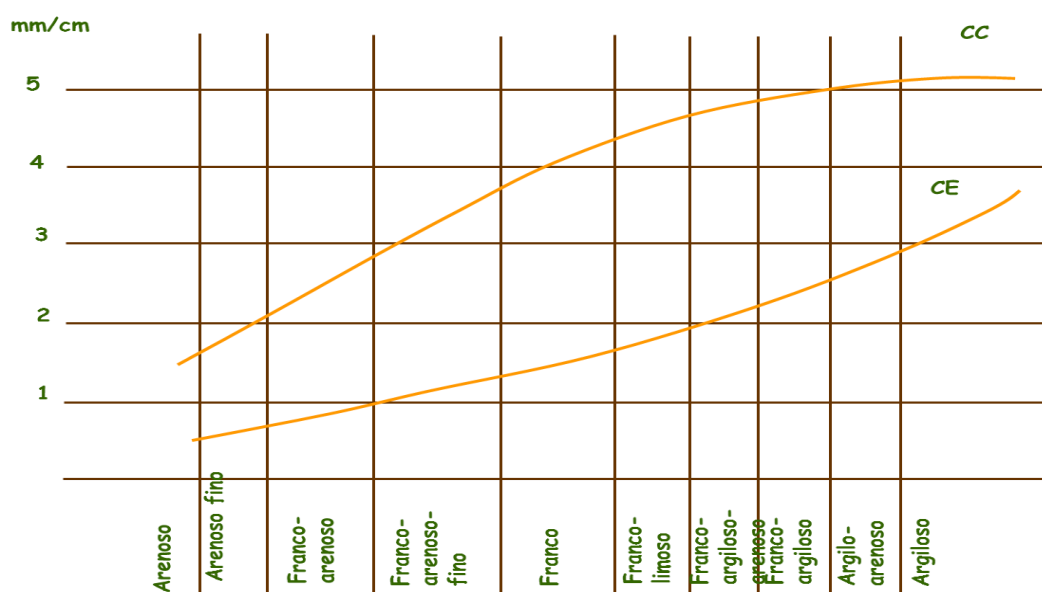


Figura 9 - Variação da capacidade de campo e do coeficiente de emurchecimento com a textura do solo (adaptado de Botelho da Costa, 1985).

O conhecimento da proporção de elementos grosseiros no solo (partículas com dimensão superior a 2mm) é também importante na medida em que estes influenciam o comportamento físico e a cultivabilidade do solo.

Estrutura

A estrutura do solo define-se como o tamanho, forma e organização das partículas do solo e respetivos vazios.

Um solo bem estruturado resulta da presença de agregados que permaneçam estáveis quando molhados e que contenham porosidade adequada para permitir o

arejamento, a infiltração, a drenagem e a retenção da água no solo e um bom desenvolvimento do sistema radicular.

A fraca estabilidade dos agregados pode conduzir a situações graves particularmente quando os solos são irrigados.

Matéria orgânica

A matéria orgânica é constituída por restos de animais e vegetais que interagem no e com o solo. Compreende, portanto, a biomassa viva constituída por fragmentos de plantas e animais e microrganismos, raízes mortas e uma mistura amorfa de substâncias orgânicas com dimensões coloidais denominada de húmus.

A sua importância resulta dos efeitos que exerce sobre as propriedades do solo, como o aumento da capacidade de retenção de água, a estabilização da estrutura do solo através da ação de agregação das partículas minerais, o aumento da capacidade de troca catiónica, a reserva de energia e o aumento da disponibilidade dos nutrientes para os organismos e, ainda, o aumento da resiliência, ou do poder tampão, do solo (INIAV, 2016).

Espessura do solo

Em termos de produção não interessa só as características dos horizontes superficiais normalmente atingidos pelas técnicas culturais, mas também os níveis inferiores do perfil pedológico. Quando as características internas do perfil são favoráveis ao desenvolvimento radicular, esperam-se maiores produções nos solos mais profundos uma vez que haverá uma disponibilidade hídrica e mineral maior.

3.9. A água no solo: movimento, retenção e absorção

A água é um componente essencial para todos os seres vivos, e é a base de toda a produção vegetal. A sua importância tem várias razões, como: suprimir as necessidades hídricas das culturas; é o solvente onde os nutrientes se movem para chegar as raízes e ao longo da planta; o teor de água no solo controla o arejamento e a temperatura do solo, que são fatores importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Tanto o movimento como o armazenamento da água da rega ao longo do perfil são determinados pela sua infiltração à superfície do solo. Quando um solo inicialmente seco é regado verifica-se um período inicial de infiltração relativamente rápida que corresponde ao movimento da água gravitacional. A drenagem é, também,

muito importante em condições de regadio uma vez que facilita a circulação da água no solo permitindo que não ocorram situações de encharcamento e salinização próxima da superfície do solo.

A condutividade hidráulica de um solo é uma propriedade que expressa a facilidade que a água se movimenta no solo, reflete, portanto, a facilidade com que os poros permitem a passagem de água. Esta propriedade é muito importante para o uso agrícola. A condutividade hidráulica na condição saturada depende, em grande parte, da forma e continuidade do sistema poroso (Gonçalves & Libardi, 2013).

A água disponível para as plantas no solo corresponde à diferença entre os teores de água correspondentes à capacidade de campo e ao ponto de emurchecimento permanente, sendo o volume total de água disponível dependente da espessura efetiva do solo (Ramos et al, 2016). A disponibilidade em água também aumenta com o teor em matéria orgânica devido ao efeito benéfico que exerce sobre a estrutura do solo e, conseqüentemente, sobre a porosidade.

4. Material e métodos

4.1. Dados das culturas

Segundo a Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural as dotações de rega de referência para as três culturas em estudo (milho, girassol e tomate), apresentam-se no quadro seguinte.

Quadro 1 - Dotações de rega de referência ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) para região sul (englobando o Ribatejo, o Alentejo e o Algarve) de acordo com o método de rega (DGADR).

Cultura	Método de rega					
	Aspersão	Canhão	Pivot	Micro-aspersão	Gota-a-gota	Subterrânea
Milho	10.896	10.896	10.169	-	9.534	8.973
Girassol	6.094	6.094	5.688	-	-	5.019
Tomate	9.995	9.995	9.328	-	8.745	8.231

4.1.1. A cultura do milho

O milho é um cereal pertencente à divisão das Fanerogâmicas, subdivisão das Angiospérmicas, classe das Monocotiledóneas, ordem das Gramínideas, família das Gramíneas, tribo Maydeae, género *Zea* L. e espécie *Zea Mays* L., sendo uma planta monóica.

A cultura do milho tem origem na América central. É a cultura de enorme importância mundial em termos de produção de grão, tendo vindo a aumentar a sua área e rendimento por hectare com o passar do tempo (FAO, 2012).

Tal como o Quadro 1 indica, os consumos hídricos de referência para esta cultura são de $10.169 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ para a rega por pivot e de $9.534 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ para a rega por gota-a-gota.

4.1.2. A cultura do girassol

O girassol é uma planta anual que faz parte da divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Asterales, família Asteráceas, género *Helianthus* e espécie *Helianthus annuus* L.

Esta cultura tem origem na América central e norte de América, estando nos tempos que correm, espalhada pelo mundo. Dentro das oleaginosas, o girassol é a quinta cultura mais cultivada no mundo. Depois da introdução de híbridos a área e a produção desta cultura aumentaram significativamente, (FAO, 2012)

Tal como o quadro 1 indica, os consumos hídricos de referência para esta cultura são de $6.094 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para a rega por aspersão.

4.1.3. A cultura do tomate

O tomateiro é uma planta herbácea de estrutura arbustiva, perene, mas é cultivada como anual (Almeida, 2006).

Pertence à família das Solanaceae, subfamília Solanoideae. Tribo Solanae, género *Lycopersicon* e espécie *Lycopersicon esculentum* Mill.

Esta cultura é originária da zona costeira ocidental da América do Sul. A nível mundial, o tomate é a segunda hortícola mais valiosa (FAO, 2012).

Tal como o Quadro 1 indica, os consumos hídricos de referência para esta cultura são para o sistema de rega por aspersão de $9.995 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e para o sistema por gota-a-gota de $8.745 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

4.1.4. Duração do ciclo e das fases de desenvolvimento das três culturas relevantes para este trabalho

Quadro 2 - Duração do ciclo total e fases de desenvolvimento, em número de dias (ALLEN et al., 1998, adaptado de PEREIRA 2005).

Culturas	Fases				Total	Data sementeira
	Inicial	Desenvolvimento	Intermédia	Final		
Girassol	25	35	45	25	130	Abr/Mai
Milho	30	40	50	30	150	Abril
Tomate	30	40	45	30	145	Abr/Mai

4.1.5. Valores dos coeficientes culturais para as três culturas relevantes para este trabalho

Estes valores de $K_{c \text{ inc}}$, $K_{c \text{ mid}}$ e $K_{c \text{ end}}$ correspondem a condições de clima sub-húmido onde a humidade relativa mínima diária media é de 45% e a velocidade média diária do vento é de 2 m.s^{-1} . As utilizações destes valores abaixo requerem correção consoante o clima.

Quadro 3 - Valores dos Coeficientes Culturais (ALLEN et al., 1998, adaptado de PEREIRA 2005).

Culturas	$K_{c\ ini}$	$K_{c\ mid}$	$K_{c\ end}$	Altura máxima das plantas (m)	Fração p			Profundidade radicular máxima, Z(m)
					Ini	mid	late	
Girassol	0.35	1.0-1.15	0.35	2.00	0.45	0.45	0.60	0.8-1.15
Milho	0.3	1.20	0.6-0.35	2.20	0.55	0.55	0.80	1.0-1.7
Tomate	0.6	1.15	0.70-0.90	0.60	0.30	0.40	0.50	0.7-1.5

A fração de esgotamento de água no solo para condições de conforto hídrico (p), corresponde ao limite a partir da qual a disponibilidade de água no solo diminui a transpiração das culturas afetando a produção (Oliveira, 2011).

4.1.6. Valores de k_y para as três culturas relevantes para este trabalho

Quadro 4 - Valores de K_y para as diferentes culturas (FAO, 1979).

Culturas	$K_{y\ ini}$	$K_{y\ dev}$	$K_{y\ mid}$	$K_{y\ late}$	$K_{y\ total}$
Girassol	0.20	1.00	0.80	0.20	0.95
Milho	0.40	1.5	0.50	0.20	1.25
Tomate	0.40	1.10	0.80	0.40	1.05

No documento da FAO paper nº 66 estão apresentados valores de K_y mais atuais investigados pela IAEA (FAO, 2012), comparando com os valores do estudo da FAO: Rega e drenagem nº 33. Apenas se apresenta esta comparação para duas das culturas investigadas: milho e girassol. Os valores aqui utilizados correspondem aos do paper nº66. No Quadro 5 está representada essa comparação de valores, estando sublinhados a encarnado as culturas que interessam.

Quadro 5 - Valores de K_y referidos no paper nº66 da FAO.

Comparación de los valores del K_y del Estudio FAO: Riego y Drenaje N.º 33 con los de las investigaciones del IAEA (FAO, 2002) en diferentes etapas de desarrollo del cultivo. Tr-0000=déficit de agua que se presenta durante todo el período; Tr-0111=déficit de agua que se presenta durante la etapa inicial del cultivo; Tr-1011=déficit de agua que se presenta durante el desarrollo del cultivo; Tr-1101=déficit de agua que se presenta a mediados del período; Tr-1110=déficit de agua que se presenta al final del período. Cuando el IAEA reporta valores diferentes del K_y para el mismo cultivo, se refieren a resultados experimentales de distintos países o a resultados experimentales de distintas ubicaciones en el mismo país

Cultivo	Tr-0000			Tr-0111			Tr-1011			Tr-1101			Tr-1110		
	FAO	IAEA	(%)	FAO	IAEA	(%)	FAO	IAEA	(%)	FAO	IAEA	(%)	FAO	IAEA	(%)
Frijol o judías	1.15	0.59	-49	0.20	0.38	90	1.10	1.75	59	0.75	1.44	92	0.20	0.06	-70
	1.15	1.43	24	0.20	0.56	180	1.10	1.35	23	0.75	0.87	16	0.20	0.17	-15
	0.85	1.02	20	0.20	0.75	275	0.50	0.48	-4				0.25		
Algodón	0.85	0.71	-16	0.20	0.80	300	0.50	0.60	20		0.05				
	0.85	0.99	16				0.50	0.76	52						
Maní o cacahuete	0.70			0.20			0.80	0.74	-8	0.60			0.20		
Maíz	1.25	1.33	6	0.40			1.50			0.50			0.20		
Papa o patata	1.10			0.60	0.40	-33		0.33		0.70	0.46	-34	0.20		
Soya o soja	0.85			0.20	0.56	180	0.80	1.13	41	1.00	1.76	76			
Caña de azúcar	1.20			0.75	0.20	-73		1.20		0.50	1.20	1.40	0.10		
	1.20			0.75	0.40	-47		1.20		0.50	1.20	1.40			
Girasol	0.95	0.91	-4	0.40	1.19	198	1.00	0.94	-6	0.80	1.14	43			
Trigo de primavera	1.15	1.32	15	0.20	0.55	175	0.65	0.90	38	0.55	0.44	-20		0.25	
Trigo de invierno	1.00	0.87	-13	0.20	2.24	1170	0.60	0.81	35	0.50	0.48	-4		0.62	

4.2. Dados edáficos

4.2.1. Descrição do tipo de solos, suas características e limitações

Os solos da Lezíria, desenvolvem-se a partir das aluviões do Holocénico, consistem em depósitos de origem fluvial (20%) a Norte e marinha na parte central e Sul (80%). Os solos argilosos de origem marinha, que são os mais abundantes, são bastante homogêneos e com textura fina a muito fina, apresentando salinidade e alcalinidade média a elevada, que se vai acentuando à medida que se caminha para Sul. Os solos são quase invariavelmente caracterizados de argilo-limosos e franco-argilo-limosos, na Lezíria Grande de VFX.

Os solos fluviais são de modo geral mais ligeiros e quase não apresentam problemas de sais, em especial na zona Norte.

De acordo com a carta de solos de Portugal, os solos nas Lezírias dividem-se em três ordens, solos Incipientes, solos Halomórficos e solos Hidromórficos:

- Os solos Incipientes são solos formados a partir de aluviões modernos, solos pouco evoluídos formados a partir de processos de inundação sucessivos e deposição de materiais de diferente natureza. Caracterizam-se por apresentar elevada fertilidade;
- Os solos Halomórficos também têm origem em aluviões, mas contêm teores de sais solúveis muito elevados;
- Os solos Hidromórficos são os que ocupam menor área localizando-se nas zonas depressivas, são solos com encharcamento temporário ou permanente.

Os solos da Lezíria Grande de VFX são de origem aluvionar, o que lhes confere um elevado potencial para o desenvolvimento da atividade agrícola. As formações aluvionares que constituem a Lezíria, podem dividir-se em três grupos, de acordo com a origem, natureza, idade e condições de deposição dos materiais que a constituem:

- a) Formação basal (T) de materiais predominantemente de origem marinha, constituindo o substrato da Lezíria e aflorando em extensão limitada nas partes E/NE e W/NW, sobretudo nas áreas depressionárias entre canais naturais (rios, esteiros, etc.). Esta formação é constituída fundamentalmente por materiais finos como o limo e argila em proporção aproximadamente igual, em geral sem carbonato de cálcio, mas frequentemente com níveis de acumulações calcárias, sob a forma de nódulos e/ou concreções;
- b) Formação de materiais de origem marinha, de deposição relativamente recente (C), recobrando a formação basal a partir da extremidade a jusante e ao longo dos principais esteiros, vias de penetração das águas da preia-mar. Trata-se de materiais depositados sob a influência de águas relativamente salgadas, finos, com proporção de argila e limo aproximadamente igual e com carbonato de cálcio em proporção variável;
- c) Formação de materiais de origem continental (F) depositados sob a influência de águas doces ou pouco salgadas recobrando a formação basal a partir da extremidade de montante (N/NE) e ao longo do rio Tejo, de antigos leitos ou braços (Tejinho, Ruivo, Caneja, Arriaga) e do rio Sorraia. A granulometria dos materiais dos sedimentos F é muito variada. São materiais com teor de areia

mais elevado que os das outras formações e, por vezes, predominantemente grosseiros.

Consideram-se como principais características dos solos da Lezíria Grande as seguintes:

- Texturas do horizonte superficial pesada, com baixas percentagens de areia fina e percentagens de limo e argila parecidas. As texturas muito finas (pesadas), do tipo Franco-argilo-limosa e Argilo-limosa dominam a maior parte da área em estudo;
- O contraste da textura entre a 1ª e a 2ª camada depende da natureza dos depósitos sedimentares. O contraste é maior quando ocorre depósito marinho antigo;
- A Salinidade é permanente ao longo da área. A norte, como coincide com depósitos fluviais, os solos não são salinos na camada superficial. Já no resto da área os depósitos são marinhos, pelo que se encontra níveis de salinidade de moderado a elevado em todo o perfil. Os solos altamente e extremamente salinos encontram-se espalhados por toda área, em pequenas manchas situadas geralmente em depressões topográficas. A salinidade aumenta com a profundidade;
- Os calcários encontram-se presentes em toda a área de estudo;
- A textura fina é predominante em toda a área, havendo más condições de permeabilidade e preparação do solo para as culturas. Os usos de máquinas pesadas neste tipo de solos pesados apresentam um grande risco de compactação;
- A topografia plana característica das Lezírias diminui as possibilidades de erosão.

Apresenta-se de seguida a distribuição dos solos da Lezíria com as características apontadas. No mapa a baixo, está classificado o tipo de solo do nosso caso de estudo, estando representada cada uma das parcelas estudadas.

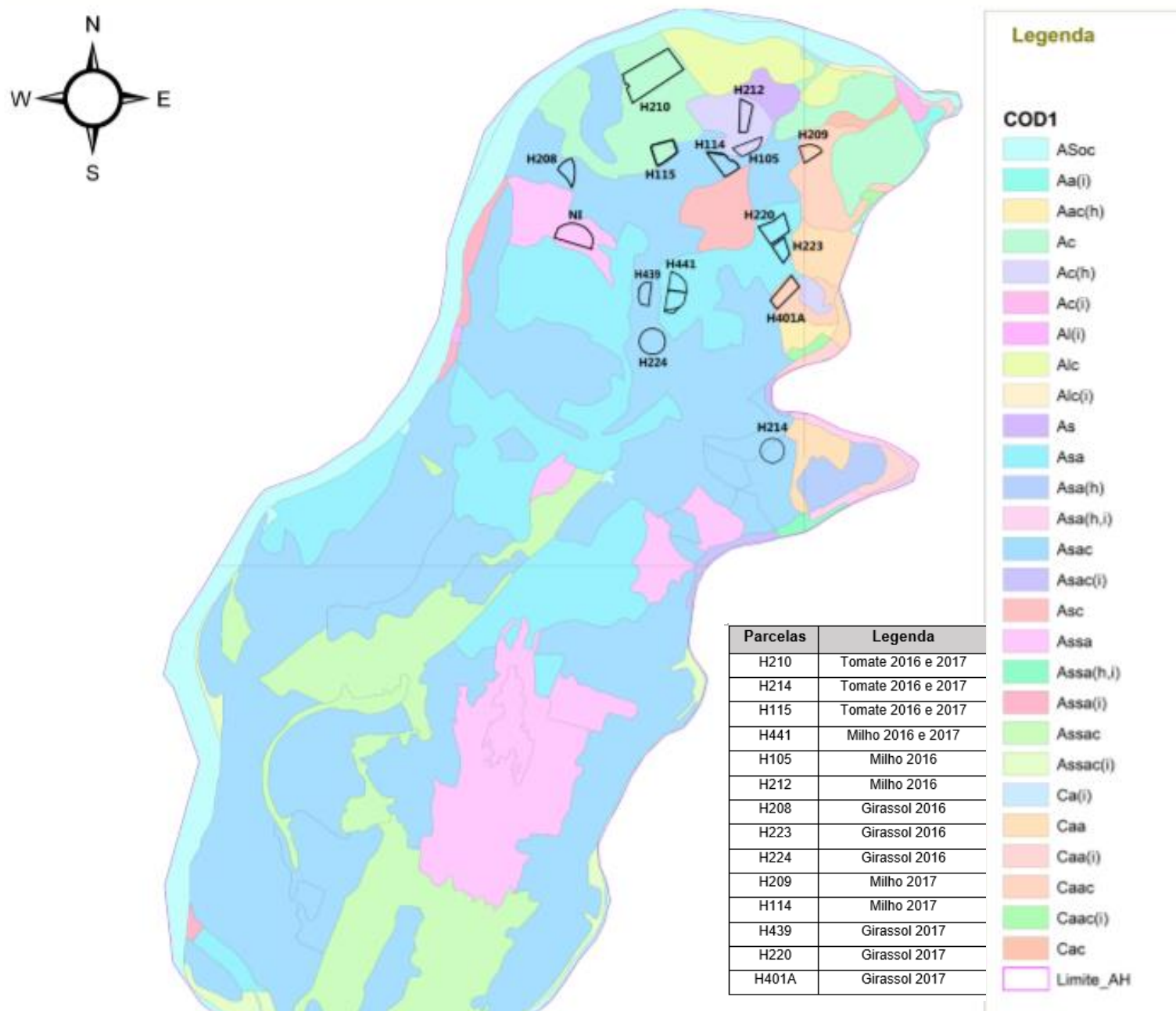


Figura 10 - Carta de solos com indicação da localização das parcelas em estudo.

Quadro 6 - Classificação do tipo de solos representativo para as parcelas em estudo.

Cod 1	Classificação e descrição geral das famílias
Ac	Aluviossolos modernos de textura mediana com carbonatos
Ac(h)	Aluviossolos modernos de textura mediana com carbonatos
Asa	Solos salinos de salinidade moderada de aluviões de textura pesada.
Asac	Solos salinos de salinidade moderada de aluviões de textura pesada, com carbonatos.
Caac	Solos hidromórficos sem horizonte Eluvial para Aluviossolos de aluviões ou coluviais de textura pesada com calcários.

4.2.2. Granulometria dos solos

- Argilo-Limosos: 10 929 ha (78%);
- Franco Argilo Limosos, Franco Limosos: 2 532 ha (20%).

4.2.3. Salinidade dos solos

- Solos extremamente salinos ($E_{ce} > 16 \text{ mmhos.cm}^{-1}$): 1 790 ha (13,5 %);
- Solos altamente salinos ($E_{ce} 8 - 16 \text{ mmhos.cm}^{-1}$): 3 664 ha (28%);
- Solos moderadamente salinos ($E_{ce} 4 - 8 \text{ mmhos.cm}^{-1}$): 4 295 ha (33%);
- Solos ligeiramente salinos ($E_{ce} 2 - 4 \text{ mmhos.cm}^{-1}$): 1 178 ha (9%);
- Solos não salinos ($E_{ce} < 2 \text{ mmhos.cm}^{-1}$): 2 189 ha (16,5%).

4.2.4. Alcalinidade dos solos

- Solos de alcalinidade alta ($ESP > 15\%$): 5 343 ha (41%, solos de origem marinha sem calcário);
- Solos de alcalinidade média ($ESP 7 - 15\%$): 5 542 ha (42%);
- Solos de alcalinidade baixa ($ESP < 7\%$): 2 281 ha (17%, solos de origem fluvial).

4.2.5. Condições de drenagem dos solos

- Solos cuja drenagem interna é suficiente: 892 ha (7%);
- Solos cuja drenagem interna é insuficiente: 12 274 ha (93%).

4.2.6. Permeabilidade dos solos

- Solos com permeabilidade baixa (0,1 – 0,5 m/dia): 9 763 ha (75%);
- Solos com permeabilidade moderada e rápida (0,5 m/dia): 3.353 ha (25%).

4.2.7. Topografia dos solos

- Solos com cota superior a 1 m acima do nível médio do mar: 11.712 ha (89%);
- Solos com cota inferior a 1 m acima do nível médio do mar: 1.454 ha (11%);

Os solos desta área, considerados solos pesados, apresentam valores de capacidade de campo (CC) e de coeficiente de emurchecimento permanente (CE) característicos, os mais relevantes para o estudo são os de textura Franco-argilo-limosa, e textura Argilo-limosa, uma vez que representam quase a totalidade das Lezírias. Os valores da CC e CE estão nos quadros 7, 8 e 9.

Quadro 7 - Valores médios máximos e mínimos do teor de água no solo correspondentes à Capacidade de Campo (CC), por classe textural.

Classe textural	Teor de água (cm ³ /cm ³)		
	Média	Máximo	Mínimo
Argilosa (A)	0,368	0,417	0,320
Argilo-Arenosa (AAr)	0,256	0,347	0,166
Argilo-Limosa (AL)	0,443	0,490	0,397
Arenosa (Ar)	0,127	0,179	0,075
Areno-Franca (ArF)	0,236	0,290	0,181
Franca (F)	0,269	0,310	0,227
Franco-Argilosa (FA)	0,314	0,362	0,266
Franco-Argilo-Arenosa (FAAr)	0,279	0,323	0,234
Franco-Argilo-Limosa (FAL)	0,392	0,458	0,326
Franco-Arenosa (FAr)	0,278	0,331	0,226
Franco-Limosa (FL)	0,313	0,376	0,250

Quadro 8 - Valores médios máximos e mínimos do teor de água no solo correspondentes ao Coeficiente de Emurchecimento (CE), por classe textural.

Classe textural	Teor de água (cm ³ /cm ³)		
	Média	Máximo	Mínimo
Argilosa (A)	0,268	0,316	0,219
Argilo-Arenosa (AAr)	0,170	0,260	0,079
Argilo-Limosa (AL)	0,290	0,336	0,244
Arenosa (Ar)	0,021	0,073	0,001
Areno-Franca (ArF)	0,055	0,110	0,001
Franca (F)	0,128	0,169	0,086
Franco-Argilosa (FA)	0,219	0,267	0,172
Franco-Argilo-Arenosa (FAAr)	0,187	0,231	0,142
Franco-Argilo-Limosa (FAL)	0,218	0,284	0,152
Franco-Arenosa (FAr)	0,104	0,156	0,051
Franco-Limosa (FL)	0,142	0,205	0,078

Quadro 9 - Valores de Capacidade de Campo (CC) e Coeficiente de Emurchecimento (CE) usados.

Classe textural	Teor médio de água (cm ³ /cm ³) correspondente a CC	Teor médio de água (cm ³ /cm ³) correspondente ao CE
Argilo-limoso (AL)	0.443	0.290
Franco-Argilo-Limoso (FAL)	0.392	0.218

A capacidade utilizável (U) para uma camada de solo com 1 metro de profundidade é calculada da seguinte forma:

$$U = (CC - CE) \times 10^3$$

Logo, para solo Argilo-limoso:

$$U = (0.443 - 0.290) \times 10^3 = 153 \text{ mm/m}$$

Para o solo Franco-Argilo-limoso:

$$U = (0.392 - 0.218) \times 10^3 = 174 \text{ mm/m}$$

4.3. Dados climáticos

Os dados climáticos provêm da estação meteorológica da Figueirinha, localizada dentro da área em estudo e com as seguintes características:

- Latitude: 39°12' N; Longitude: 08° 44' W; Altitude (m): 10

A seguir apresentam-se os dados climáticos para os anos de 2016 e 2017. Estes dados provenientes da estação da Figueirinha, foram fornecidos hora a hora para cada dia e ano. Depois de os analisar e compilar por mês, foram introduzidos no programa CROPWAT. Note-se que em 2016 a precipitação foi quase o dobro da registada em 2017, havendo grandes diferenças em abril e maio nos dois anos.

Quadro 11 - Dados meteorológicos mensais relativos ao ano de 2016

Country

Station

Altitude m.

Latitude °N

Longitude °W

Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m²/day	mm/day
January	1.7	20.9	95	95	9.9	12.1	1.07
February	0.5	19.9	88	153	10.9	16.0	1.85
March	1.5	21.8	87	137	12.0	21.2	2.74
April	4.3	25.4	83	199	13.0	26.1	4.10
May	8.2	31.3	80	187	14.2	29.9	5.63
June	11.5	34.4	72	153	14.9	31.6	6.50
July	13.8	38.0	71	134	14.8	31.0	6.88
August	13.6	37.8	70	132	13.8	27.8	6.23
September	10.5	40.7	71	106	12.3	22.7	5.34
October	7.6	30.9	84	91	11.1	17.3	3.01
November	3.8	25.0	88	91	10.0	12.8	1.63
December	0.0	20.1	93	72	9.7	11.0	0.85
Average	6.4	28.9	82	129	12.2	21.6	3.82

Quadro 10 - Dados mensais da precipitação total e efetiva relativos ao ano de 2016

	Rain	Eff rain
	mm	mm
January	120.0	97.0
February	148.2	113.1
March	61.4	55.4
April	127.8	101.7
May	170.0	123.8
June	0.6	0.6
July	0.2	0.2
August	0.2	0.2
September	1.0	1.0
October	44.2	41.1
November	50.0	46.0
December	103.4	86.3
Total	827.0	666.2

Quadro 13 - Dados meteorológicos mensais relativos ao ano de 2017

Country Portugal		Station Lezírias					
Altitude	10 m.	Latitude	39.12 °N	Longitude	8.44 °W		
Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m²/day	mm/day
January	-4.5	20.3	90	72	9.9	12.1	1.02
February	3.7	20.4	89	139	10.9	16.0	1.70
March	3.1	28.5	81	130	12.0	21.2	3.46
April	7.1	30.2	65	146	13.1	26.2	4.97
May	7.2	35.5	73	154	14.2	29.9	6.29
June	11.9	41.0	70	144	14.9	31.6	7.55
July	11.8	36.8	75	175	14.8	31.0	6.95
August	12.2	36.2	70	165	13.8	27.8	6.26
September	9.1	35.2	68	220	12.3	22.7	5.56
October	8.4	35.5	70	96	11.1	17.3	3.51
November	3.7	23.8	84	94	10.0	12.8	1.66
December	-0.5	19.6	90	91	9.7	11.0	0.96
Average	6.1	30.3	77	136	12.2	21.6	4.16

Quadro 12 - Dados mensais da precipitação total e efetiva relativos ao ano de 2017.

	Rain	Eff rain
	mm	mm
January	67.6	54.1
February	44.0	35.2
March	61.8	49.4
April	3.0	2.4
May	46.2	37.0
June	2.6	2.1
July	14.2	11.4
August	4.2	3.4
September	0.8	0.6
October	44.8	35.8
November	99.4	79.5
December	70.4	56.3
Total	459.0	367.2

Os valores nas colunas a amarelo são valores já calculados pelo programa. Sendo a radiação calculada através das coordenadas geográficas.

4.4. O programa usado – CROPWAT e respetivos dados de entrada

Como já anteriormente referido, a versão do programa utilizada foi o CROPWAT 8.0, na qual o cálculo da evapotranspiração potencial é efetuado pelo método de Penman-Monteith.

Os dados iniciais para as diferentes corridas realizadas foram os seguintes:

- Valores de altura máxima das plantas, duração das fases de crescimento e respetivos valores de Kc, Ky, profundidade de enraizamento e fração crítica de depleção de água no solo.

Estes dados são de seguida apresentados por cultura e comparando os dois anos.

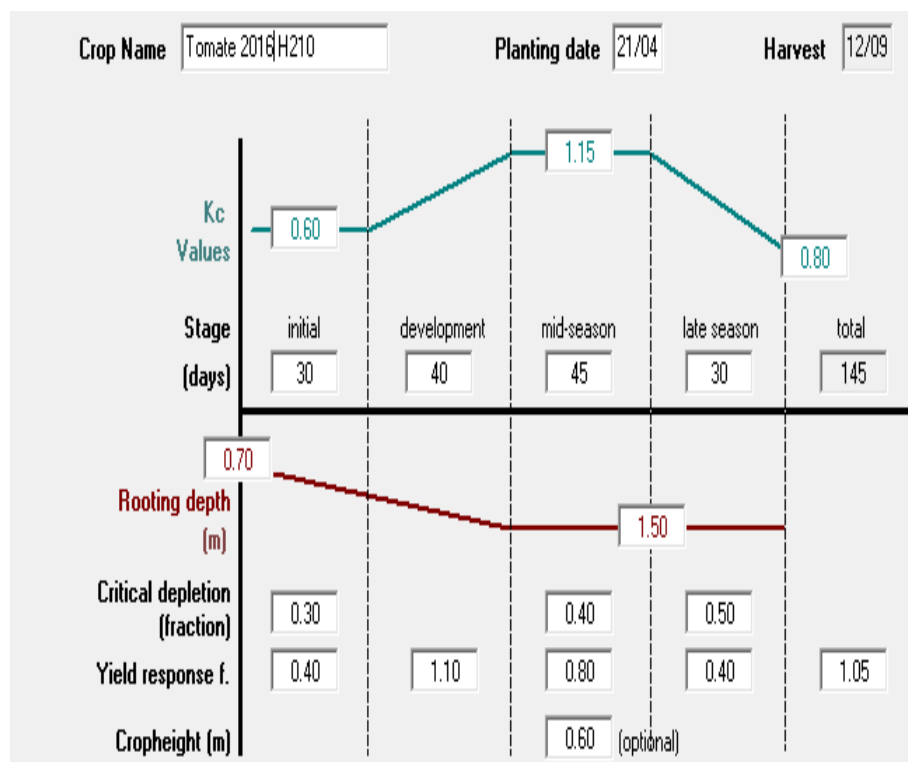
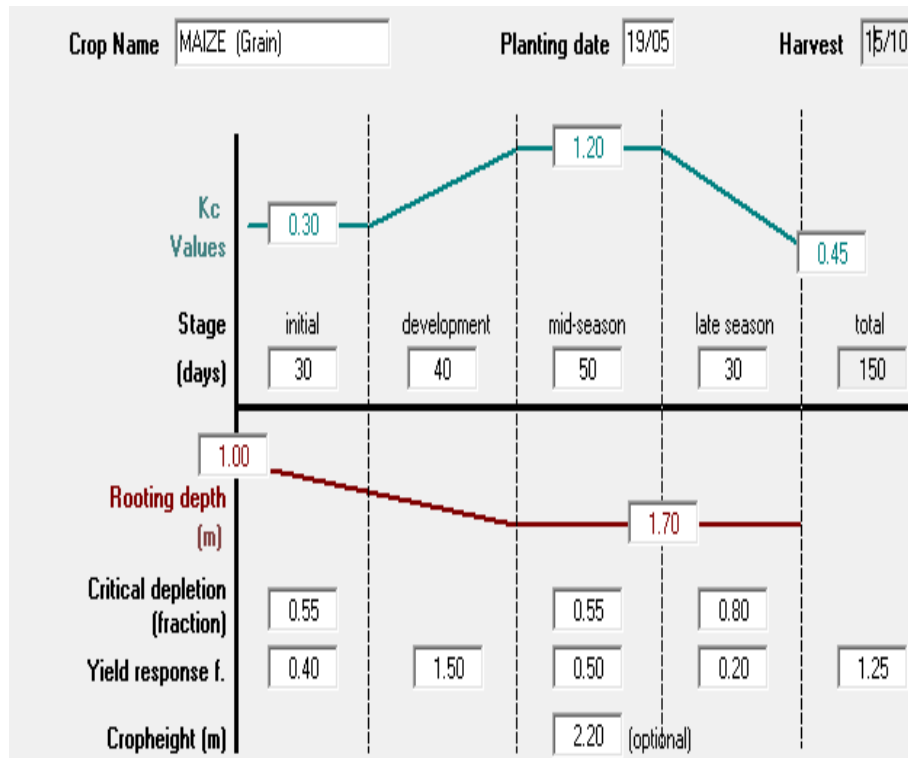


Figura 11 - Dados iniciais para a cultura do tomate em 2016 e 2017.

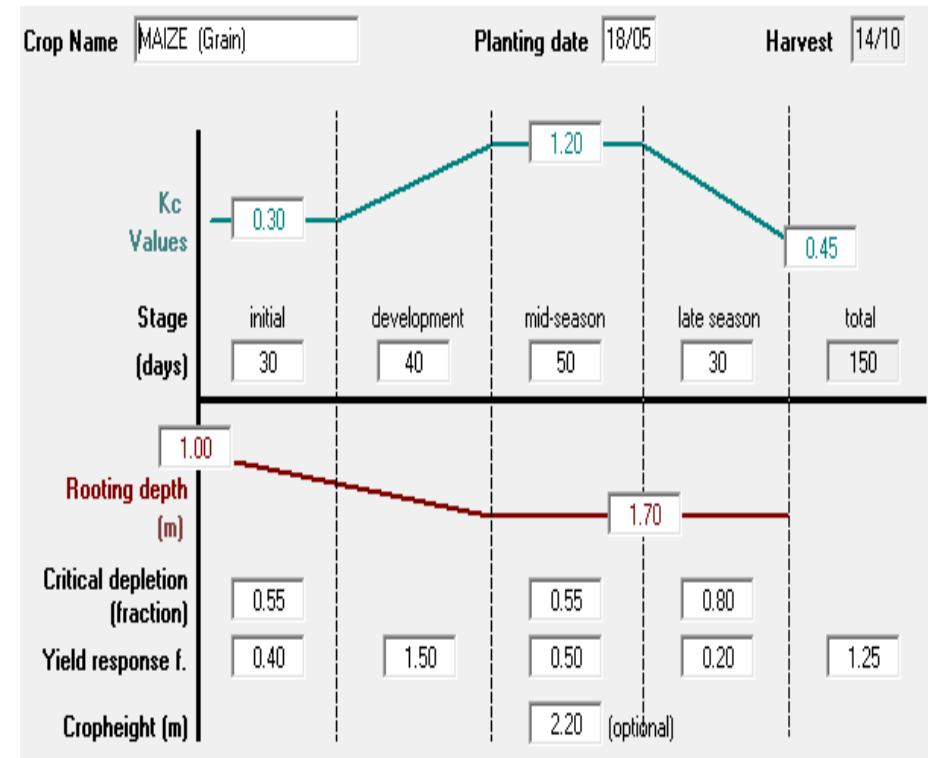
Note-se que os valores são idênticos tanto para 2016 como para 2017, o que quer dizer que a cultura foi plantada e colhida nas mesmas datas.

Dados iniciais para a cultura do milho:

2016



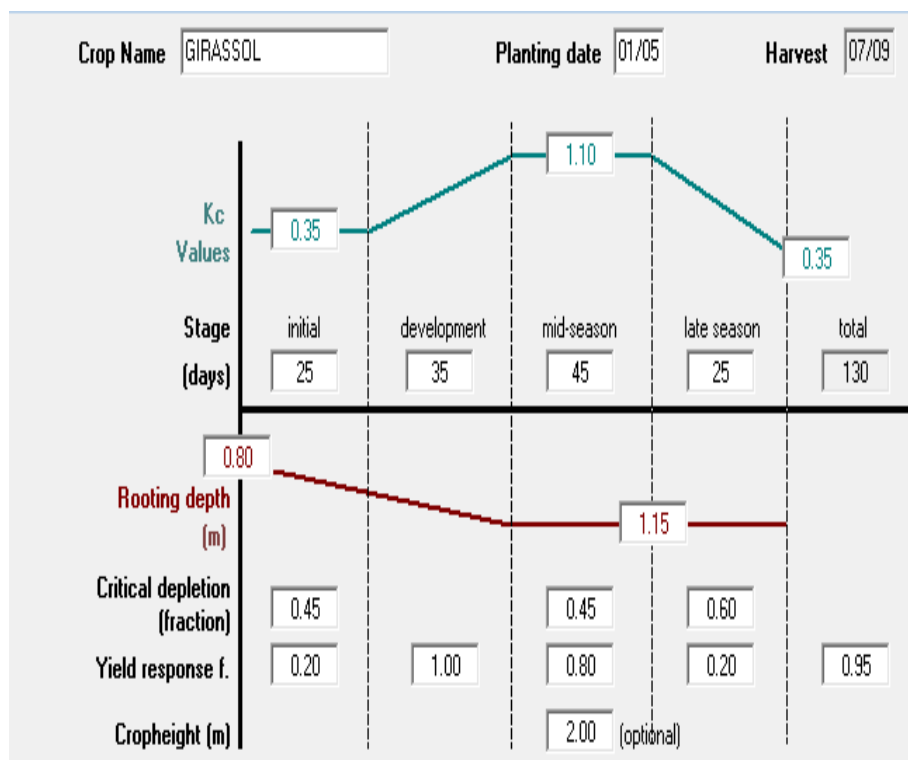
2017



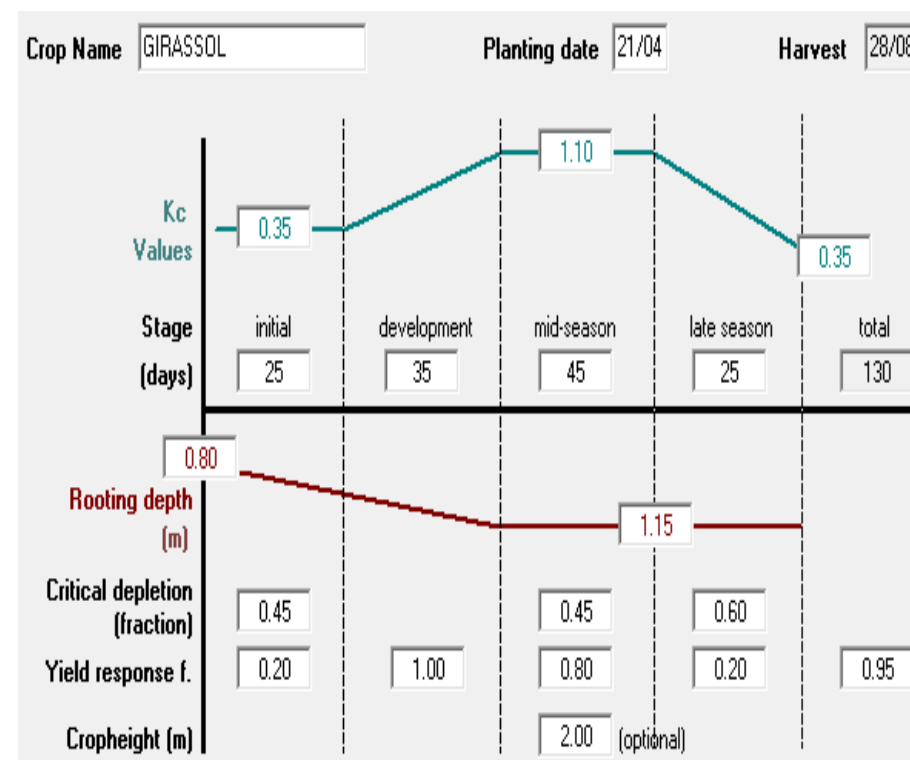
Verifica-se que os valores são idênticos nos dois anos, havendo apenas um desfasamento temporal de um dia.

Dados iniciais para a cultura do girassol:

2016



2017



Verifica-se que os valores são idênticos nos dois anos, havendo apenas um desfasamento temporal de nove dias.

5. Resultados e análise

De seguida apresentam-se os resultados relativos aos requisitos teóricos de água para irrigação e aos momentos e intervalos entre regas, obtidos através das diversas corridas do programa CROPWAT, para cada cultura e para cada ano (2016 e 2017).

5.1. Resultados do CROPWAT relativos à Cultura do Tomate nos anos de 2016 e 2017

Estimativa dos requisitos teóricos de irrigação por décadas para satisfazer completamente as necessidades hídricas da cultura do tomate

2016

ETo station		Lezírias	Crop		Tomate 2016 H210		
Rain station		Lezírias 2016	Planting date		21/04		
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Apr	3	Init	0.60	2.76	27.6	37.1	0.0
May	1	Init	0.60	3.07	30.7	43.4	0.0
May	2	Init	0.60	3.38	33.8	48.2	0.0
May	3	Deve	0.69	4.08	44.8	32.2	12.7
Jun	1	Deve	0.84	5.24	52.4	0.7	51.7
Jun	2	Deve	0.99	6.45	64.5	0.0	64.5
Jun	3	Mid	1.14	7.54	75.4	0.0	75.4
Jul	1	Mid	1.19	8.13	81.3	0.1	81.2
Jul	2	Mid	1.19	8.32	83.2	0.1	83.1
Jul	3	Mid	1.19	8.02	88.2	0.1	88.2
Aug	1	Mid	1.19	7.68	76.8	0.1	76.8
Aug	2	Late	1.16	7.22	72.2	0.1	72.2
Aug	3	Late	1.04	6.18	68.0	0.2	67.8
Sep	1	Late	0.92	5.24	52.4	0.0	52.4
Sep	2	Late	0.85	4.62	9.2	0.0	9.2
					860.6	162.1	735.0

2017

ETo station		Lezírias	Crop		Tomate 2017 H210		
Rain station		LEZIRIAS 2017	Planting date		21/04		
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Apr	3	Init	0.60	3.25	32.5	1.1	31.4
May	1	Init	0.60	3.51	35.1	10.6	24.5
May	2	Init	0.60	3.78	37.8	15.6	22.2
May	3	Deve	0.69	4.64	51.0	10.6	40.4
Jun	1	Deve	0.85	6.17	61.7	1.7	60.0
Jun	2	Deve	1.00	7.76	77.6	0.0	77.6
Jun	3	Mid	1.15	8.61	86.1	0.5	85.5
Jul	1	Mid	1.20	8.61	86.1	3.3	82.9
Jul	2	Mid	1.20	8.37	83.7	4.6	79.1
Jul	3	Mid	1.20	8.10	89.1	3.4	85.6
Aug	1	Mid	1.20	7.82	78.2	1.9	76.3
Aug	2	Late	1.17	7.34	73.4	0.9	72.5
Aug	3	Late	1.06	6.36	70.0	0.7	69.3
Sep	1	Late	0.93	5.48	54.8	0.1	54.7
Sep	2	Late	0.87	4.90	9.8	0.0	9.8
					926.8	55.0	871.8

Verifica-se que os requisitos de irrigação são maiores em 2017, uma vez que, nesse ano, a precipitação foi inferior e a evapotranspiração foi maior do que em 2016. Os resultados apontam para necessidades hídricas teóricas da cultura do tomate da ordem dos **735 mm** em 2016 e **872 mm** em 2017.

Estimativa das necessidades teóricas de irrigação

2016

ETo station	Lezirias	Crop	Tomate 2016	Planting date	21/04	Yield red.	
Rain station	Lezirias 2016	Soil	Heavy (clay)	Harvest date	12/09		0.0 %

Table format

☒ Irrigation schedule

☐ Daily soil moisture balance

Timing: Irrigate at critical depletion

Application: Refill soil to field capacity

Field eff. 100 %

Totals					
Total gross irrigation	738.2	mm	Total rainfall	219.2	mm
Total net irrigation	738.2	mm	Effective rainfall	117.8	mm
Total irrigation losses	0.0	mm	Total rain loss	101.5	mm
Actual water use by crop	856.0	mm	Moist deficit at harvest	0.0	mm
Potential water use by crop	856.0	mm	Actual irrigation requirement	738.2	mm
Efficiency irrigation schedule	100.0	%	Efficiency rain	53.7	%
Deficiency irrigation schedule	0.0	%			

Yield reductions						
Stagelabel	A	B	C	D	Season	
Reductions in ETc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
Yield response factor	0.40	1.10	0.80	0.40	1.05	
Yield reduction	0.0	0.0	0.0	0.0		%
Cumulative yield reduction	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%

2017

ETo station	Lezirias	Crop	Tomate 2017 H210	Planting date	21/04	Yield red.	
Rain station	LEZIRIAS 2017	Soil	Heavy (clay)	Harvest date	12/09		0.0 %

Table format

☒ Irrigation schedule

☐ Daily soil moisture balance

Timing: Irrigate at critical depletion

Application: Refill soil to field capacity

Field eff. 100 %

Totals					
Total gross irrigation	800.5	mm	Total rainfall	68.8	mm
Total net irrigation	800.5	mm	Effective rainfall	55.5	mm
Total irrigation losses	0.0	mm	Total rain loss	13.3	mm
Actual water use by crop	921.9	mm	Moist deficit at harvest	65.9	mm
Potential water use by crop	921.9	mm	Actual irrigation requirement	866.4	mm
Efficiency irrigation schedule	100.0	%	Efficiency rain	80.6	%
Deficiency irrigation schedule	0.0	%			

Yield reductions						
Stagelabel	A	B	C	D	Season	
Reductions in ETc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
Yield response factor	0.40	1.10	0.80	0.40	1.05	
Yield reduction	0.0	0.0	0.0	0.0		%
Cumulative yield reduction	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%

Através das imagens anteriores, referentes às tabelas das “saídas” do CROPWAT, ficamos a saber quais as necessidades teóricas de irrigação, contando já com as perdas de precipitação e o déficit de água à colheita. No entanto, estes ainda não são os valores finais que devemos considerar, pois este cálculo foi efetuado considerando uma eficiência de rega de 100%. No quadro seguinte, apresentam-se os valores das necessidades hídricas teóricas considerando as eficiências dos métodos de rega efetivamente utilizados.

Quadro 14 - Necessidades teóricas de irrigação para a cultura do tomate, nos anos de 2016 e 2017

Ano	Necessidades hídricas (mm)	Eficiência do sistema de rega localizada	Necessidades de irrigação (mm)
2016	738,2	90%	820
2017	800,5		889

Dias do mês correspondente aos dias do ciclo em que se deve regar consoante RFU

2016

ETo station	Lezirias	Crop	Tomate 2016	Planting date	21/04	Yield red.	
Rain station	Lezirias 2016	Soil	Heavy (clay)	Harvest date	12/09	0.0 %	

Table format

☒ Irrigation schedule

☐ Daily soil moisture balance

Timing: Irrigate at critical depletion

Application: Refill soil to field capacity

Field eff. 100 %

Date	Day	Stage	Rain	Ks	Eta	Depl	Net Irr	Deficit	Loss	Gr. Irr	Flow
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
9 Jun	50	Dev	0.0	1.00	100	35	66.9	0.0	0.0	66.9	0.15
22 Jun	63	Dev	0.0	1.00	100	40	84.8	0.0	0.0	84.8	0.75
4 Jul	75	Mid	0.0	1.00	100	41	92.8	0.0	0.0	92.8	0.89
15 Jul	86	Mid	0.0	1.00	100	40	90.3	0.0	0.0	90.3	0.95
27 Jul	98	Mid	0.0	1.00	100	43	97.6	0.0	0.0	97.6	0.94
8 Aug	110	Mid	0.0	1.00	100	42	93.5	0.0	0.0	93.5	0.90
22 Aug	124	End	0.0	1.00	100	44	99.9	0.0	0.0	99.9	0.83
11 Sep	144	End	0.0	1.00	100	50	112.6	0.0	0.0	112.6	0.65
12 Sep	End	End	0.0	1.00	0	0					

2017

ETo station	Lezirias	Crop	Tomate 2017 H210	Planting date	21/04	Yield red.	
Rain station	LEZIRIAS 2017	Soil	Heavy (clay)	Harvest date	12/09	0.0 %	

Table format

☒ Irrigation schedule

☐ Daily soil moisture balance

Timing: Irrigate at critical depletion

Application: Refill soil to field capacity

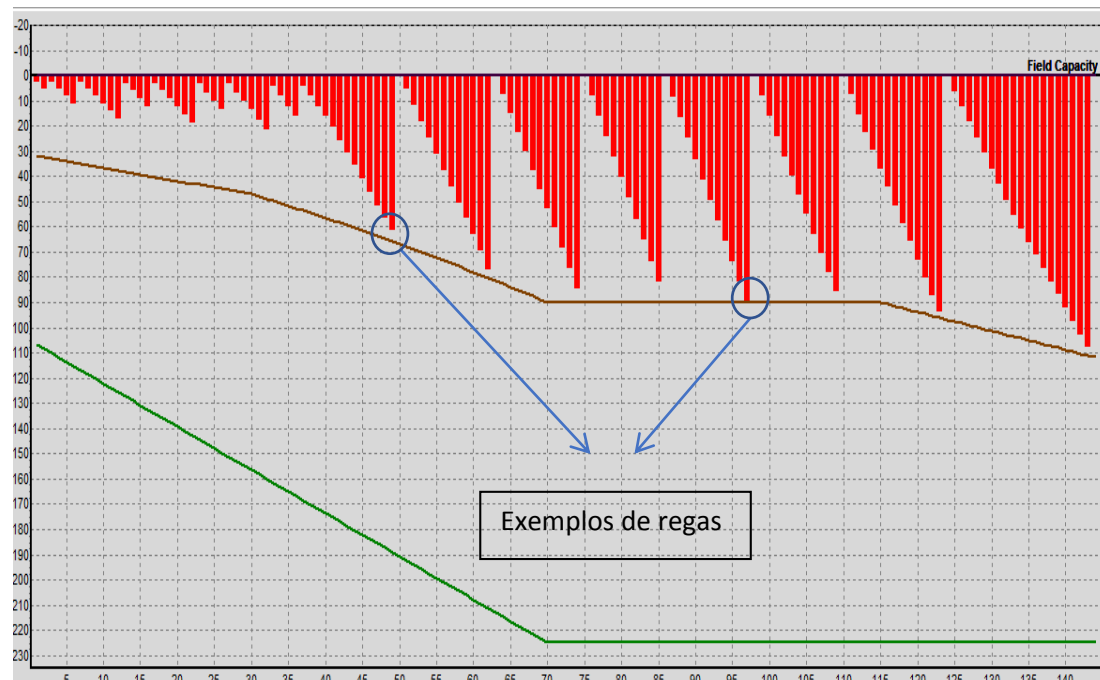
Field eff. 100 %

Date	Day	Stage	Rain	Ks	Eta	Depl	Net Irr	Deficit	Loss	Gr. Irr	Flow
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
2 May	12	Init	0.0	1.00	100	30	38.1	0.0	0.0	38.1	0.37
22 May	32	Dev	0.0	1.00	100	31	49.0	0.0	0.0	49.0	0.28
5 Jun	46	Dev	0.0	1.00	100	35	64.9	0.0	0.0	64.9	0.54
16 Jun	57	Dev	0.0	1.00	100	38	76.3	0.0	0.0	76.3	0.80
27 Jun	68	Dev	0.3	1.00	100	41	90.6	0.0	0.0	90.6	0.95
8 Jul	79	Mid	0.0	1.00	100	40	90.6	0.0	0.0	90.6	0.95
20 Jul	91	Mid	0.0	1.00	100	42	95.2	0.0	0.0	95.2	0.92
1 Aug	103	Mid	0.0	1.00	100	41	92.6	0.0	0.0	92.6	0.89
14 Aug	116	End	0.0	1.00	100	43	96.8	0.0	0.0	96.8	0.86
30 Aug	132	End	0.0	1.00	100	47	106.2	0.0	0.0	106.2	0.77
12 Sep	End	End	0.0	1.00	0	29					

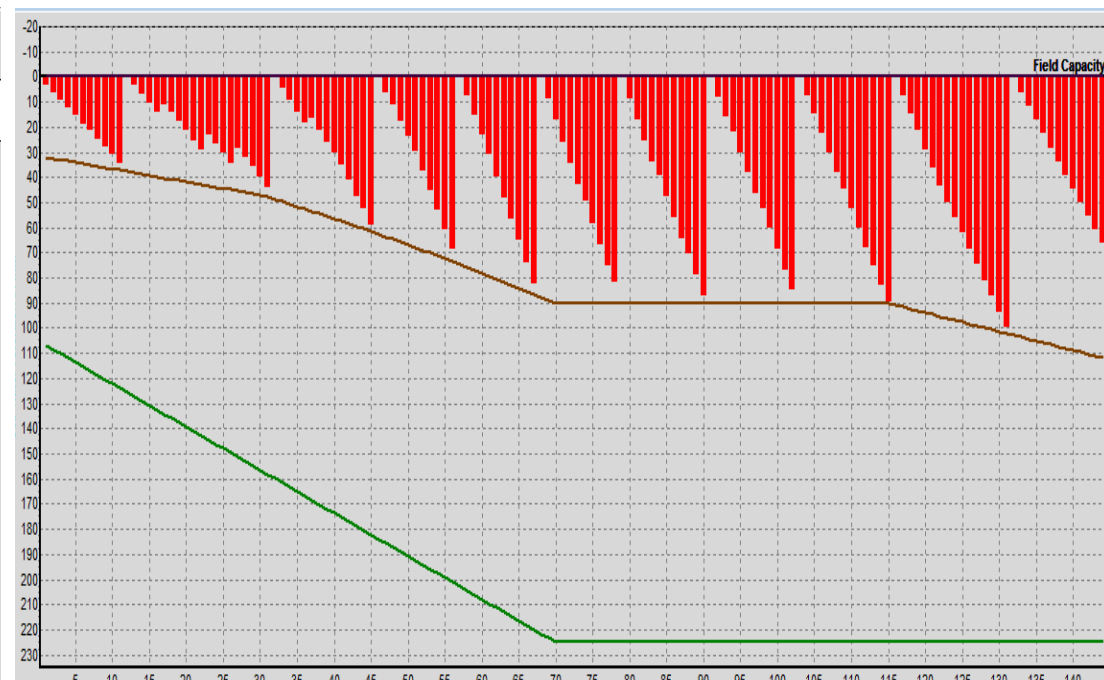
Nestes quadros observamos a quantidade de água a utilizar em cada dia de rega. Respondendo às perguntas do quando e quanto regar. A soma das irrigações corresponde às necessidades hídricas teóricas da cultura para os tais 100% de eficiência de rega. O gráfico abaixo é feito através destes valores. Por exemplo, no dia 50 do ciclo da cultura houve uma irrigação de 66.9mm.

Momentos e Intervalos entre regas no pressuposto de que se rega sempre que a água retida no solo atinge a RFU

2016



2017



Os gráficos anteriores indicam-nos os momentos (Quando?) e as quantidades (Quanto?) que se deve regar. O eixo dos Y representa o teor de água no solo em mm e o eixo dos X, os dias após a plantação. A linha de cima (a preto) representa a capacidade de campo, a linha castanha a depleção máxima de água permitida e a linha a verde o coeficiente de emurchecimento. As barras a encarnado representam a evolução do teor de água no solo, teor este que deve ser sempre mantido entre CC e a RFU. Sempre que o teor de água no solo atinge o limite da RFU, desencadeia-se uma rega na quantidade de água necessária para repor o armazenamento na CC. Deste modo, os gráficos também nos indicam em que dias e com que intervalos se deveria regar.

5.2. Resultados do CROPWAT relativos à Cultura do Milho nos anos de 2016 e 2017

Estimativa dos requisitos teóricos de irrigação para satisfazer completamente as necessidades hídricas da cultura do milho

2016

ETo station		Lezirias	Crop		MAIZE (Grain)		
Rain station		Lezirias 2016	Planting date		19/05		
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
May	2	Init	0.30	1.69	3.4	9.6	3.4
May	3	Init	0.30	1.78	19.5	32.2	0.0
Jun	1	Init	0.30	1.86	18.6	0.7	17.9
Jun	2	Deve	0.31	2.04	20.4	0.0	20.4
Jun	3	Deve	0.51	3.35	33.5	0.0	33.4
Jul	1	Deve	0.75	5.09	50.9	0.1	50.8
Jul	2	Deve	0.99	6.90	69.0	0.1	68.9
Jul	3	Mid	1.22	8.21	90.3	0.1	90.2
Aug	1	Mid	1.26	8.16	81.6	0.1	81.5
Aug	2	Mid	1.26	7.88	78.8	0.1	78.8
Aug	3	Mid	1.26	7.51	82.6	0.2	82.4
Sep	1	Mid	1.26	7.21	72.1	0.0	72.1
Sep	2	Late	1.23	6.67	66.7	0.0	66.7
Sep	3	Late	1.00	4.63	46.3	1.1	45.2
Oct	1	Late	0.75	2.78	27.8	10.3	17.5
Oct	2	Late	0.56	1.63	8.1	7.7	0.5
					769.6	62.2	729.7

2017

ETo station		Lezirias	Crop		MAIZE (Grain)		
Rain station		LEZIRIAS 2017	Planting date		18/05		
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
May	2	Init	0.30	1.89	5.7	4.7	5.7
May	3	Init	0.30	2.01	22.1	10.6	11.5
Jun	1	Init	0.30	2.18	21.8	1.7	20.1
Jun	2	Deve	0.32	2.52	25.2	0.0	25.2
Jun	3	Deve	0.53	4.00	40.0	0.5	39.4
Jul	1	Deve	0.78	5.58	55.8	3.3	52.5
Jul	2	Deve	1.03	7.13	71.3	4.6	66.8
Jul	3	Mid	1.25	8.41	92.5	3.4	89.1
Aug	1	Mid	1.29	8.34	83.4	1.9	81.5
Aug	2	Mid	1.29	8.05	80.5	0.9	79.5
Aug	3	Mid	1.29	7.75	85.2	0.7	84.5
Sep	1	Mid	1.29	7.53	75.3	0.1	75.2
Sep	2	Late	1.23	6.98	69.8	0.0	69.8
Sep	3	Late	1.00	4.94	49.4	0.7	48.7
Oct	1	Late	0.75	3.14	31.4	7.8	23.6
Oct	2	Late	0.57	2.02	8.1	4.6	2.3
					817.5	45.5	775.5

Verifica-se que os requisitos de irrigação são maiores em 2017, uma vez que, nesse ano, a precipitação foi inferior e a evapotranspiração maior do que em 2016. Os resultados apontam para necessidades hídricas teóricas da cultura do milho da ordem dos **730 mm** em 2016 e **776 mm** em 2017.

Estimativa das necessidades teóricas de irrigação

2016

ETo station	Lezirias	Crop	MAIZE (Grain)	Planting date	19/05	Yield red.	
Rain station	Lezirias 2016	Soil	Heavy (clay)	Harvest date	15/10		0.0 %

Table format

☒ Irrigation schedule

☐ Daily soil moisture balance

Timing: [Irrigate at critical depletion](#)

Application: [Refill soil to field capacity](#)

Field eff. 100 %

Totals							
	Total gross irrigation	632.0	mm	Total rainfall	66.3	mm	
	Total net irrigation	632.0	mm	Effective rainfall	35.8	mm	
	Total irrigation losses	0.0	mm	Total rain loss	30.5	mm	
	Actual water use by crop	768.0	mm	Moist deficit at harvest	100.2	mm	
	Potential water use by crop	768.0	mm	Actual irrigation requirement	732.2	mm	
	Efficiency irrigation schedule	100.0	%	Efficiency rain	54.0	%	
	Deficiency irrigation schedule	0.0	%				

Yield reductions						
	Stagelabel	A	B	C	D	Season
	Reductions in ETc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
	Yield response factor	0.40	1.50	0.50	0.20	1.25
	Yield reduction	0.0	0.0	0.0	0.0	%
	Cumulative yield reduction	0.0	0.0	0.0	0.0	%

2017

ETo station	Lezirias	Crop	MAIZE (Grain)	Planting date	18/05	Yield red.	
Rain station	LEZIRIAS 2017	Soil	Heavy (clay)	Harvest date	14/10		0.0 %

Table format

☒ Irrigation schedule

☐ Daily soil moisture balance

Timing: [Irrigate at critical depletion](#)

Application: [Refill soil to field capacity](#)

Field eff. 100 %

Totals							
	Total gross irrigation	620.9	mm	Total rainfall	52.4	mm	
	Total net irrigation	620.9	mm	Effective rainfall	48.2	mm	
	Total irrigation losses	0.0	mm	Total rain loss	4.2	mm	
	Actual water use by crop	815.5	mm	Moist deficit at harvest	146.4	mm	
	Potential water use by crop	815.5	mm	Actual irrigation requirement	767.3	mm	
	Efficiency irrigation schedule	100.0	%	Efficiency rain	92.0	%	
	Deficiency irrigation schedule	0.0	%				

Yield reductions						
	Stagelabel	A	B	C	D	Season
	Reductions in ETc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
	Yield response factor	0.40	1.50	0.50	0.20	1.25
	Yield reduction	0.0	0.0	0.0	0.0	%
	Cumulative yield reduction	0.0	0.0	0.0	0.0	%

Através das imagens anteriores, referentes às tabelas das “saídas” do CROPWAT, ficamos a saber quais as necessidades teóricas, brutas e líquidas, de irrigação, contando já com as perdas de precipitação e o déficit de água à colheita. No entanto, estes ainda não são os valores finais que devemos considerar, pois este cálculo foi efetuado considerando uma eficiência de rega de 100%. No quadro seguinte, apresentam-se os valores das necessidades hídricas teóricas considerando as eficiências dos métodos de rega efetivamente utilizados.

Quadro 15 - Necessidades teóricas de irrigação para a cultura do milho, nos anos de 2016 e 2017

Ano	Necessidades hídricas (mm)	Eficiência de rega		Necessidades de irrigação (mm)	
		Localizada	Aspersão	Localizada	Aspersão
2016	632.0	90%	85%	702	744
2017	620.9			690	730

Dias do mês correspondente aos dias do ciclo que se deve regar consoante RFU

2016

ETo station

Lezirias

Rain station

Lezirias 2016

Crop

MAIZE (Grain)

Soil

Heavy (clay)

Planting date

19/05

Harvest date

15/10

Yield rec

0.0 %

Table format

☒ Irrigation schedule

☐ Daily soil moisture balance

Timing: [Irrigate at critical depletion](#)

Application: [Refill soil to field capacity](#)

Field eff. 100 %

Date	Day	Stage	Rain	Ks	Eta	Depl	Net Irr	Deficit	Loss	Gr. Irr	Flow
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
7 Jul	50	Dev	0.1	1.00	100	57	116.2	0.0	0.0	116.2	0.27
25 Jul	68	Dev	0.0	1.00	100	56	125.2	0.0	0.0	125.2	0.80
10 Aug	84	Mid	0.0	1.00	100	58	130.7	0.0	0.0	130.7	0.95
27 Aug	101	Mid	0.1	1.00	100	58	131.1	0.0	0.0	131.1	0.89
14 Sep	119	Mid	0.0	1.00	100	57	128.8	0.0	0.0	128.8	0.83
15 Oct	End	End	0.0	1.00	0	45					

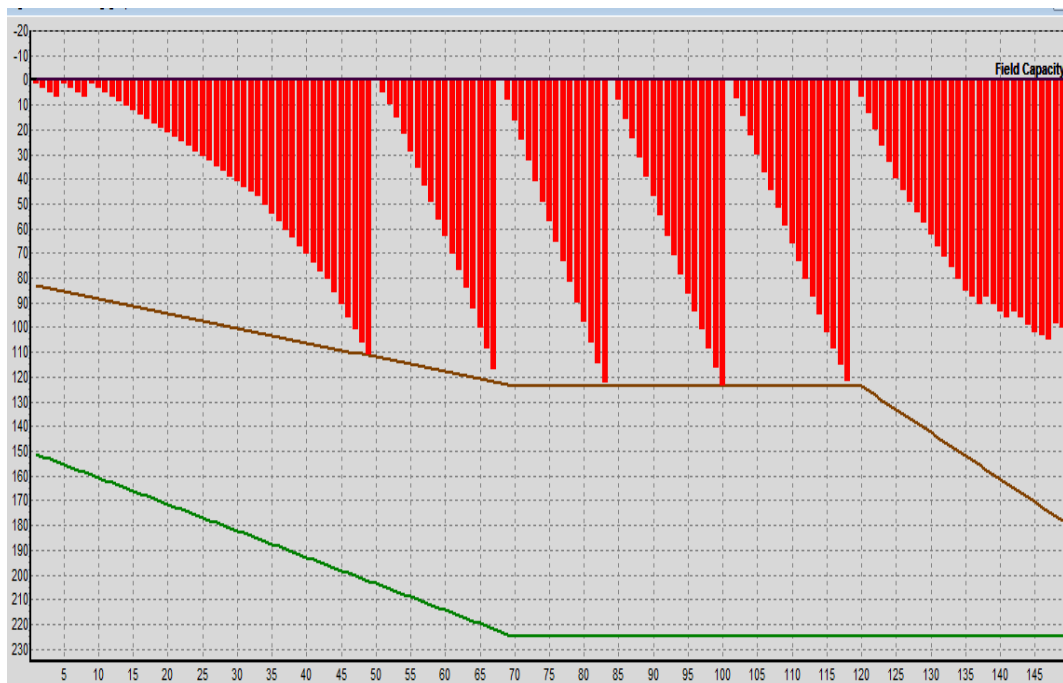
2017

ETo station	Lezirias	Crop	MAIZE (Grain)	Planting date	18/05	Yield rec					
Rain station	LEZIRIAS 2017	Soil	Heavy (clay)	Harvest date	14/10		0.0 %				
Table format		<div><div><div><input checked="" type="radio"/> Irrigation schedule</div><div><input type="radio"/> Daily soil moisture balance</div></div><div><div>Timing: Irrigate at critical depletion</div><div>Application: Refill soil to field capacity</div><div>Field eff. 100 %</div></div></div>									
Date	Day	Stage	Rain	Ks	Eta	Depl	Net Irr	Deficit	Loss	Gr. Irr	Flow
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
2 Jul	46	Dev	0.0	1.00	100	55	109.9	0.0	0.0	109.9	0.28
22 Jul	66	Dev	0.0	1.00	100	57	125.0	0.0	0.0	125.0	0.72
7 Aug	82	Mid	1.2	1.00	100	58	129.6	0.0	0.0	129.6	0.94
23 Aug	98	Mid	0.4	1.00	100	57	127.2	0.0	0.0	127.2	0.92
9 Sep	115	Mid	0.0	1.00	100	57	129.2	0.0	0.0	129.2	0.88
14 Oct	End	End	0.0	1.00	0	65					

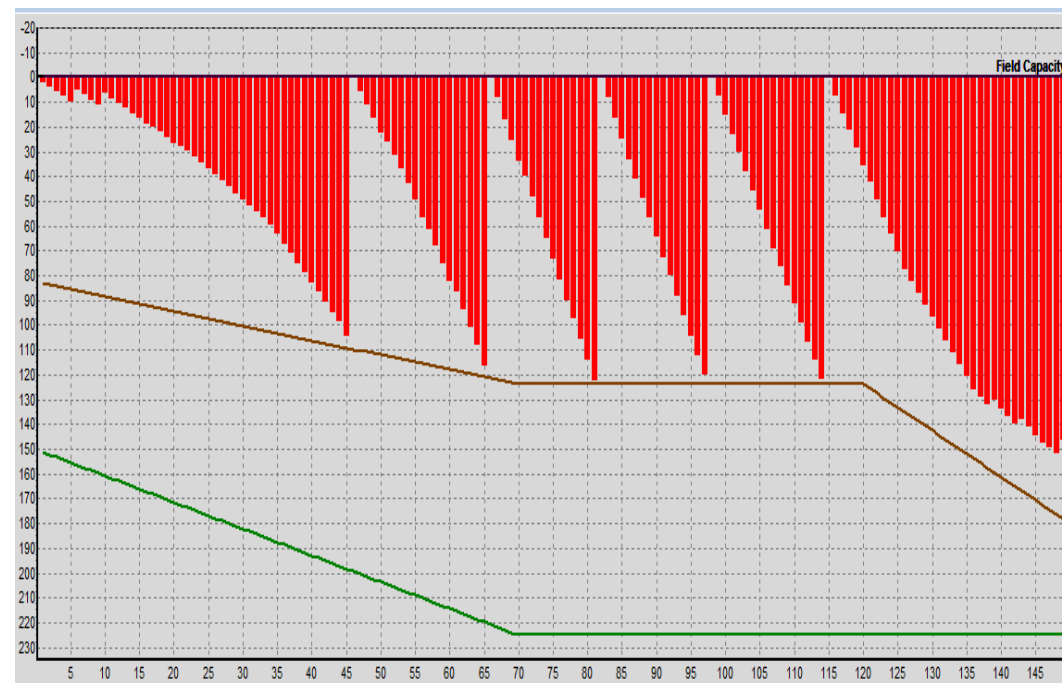
Nestas tabelas observamos a quantidade de água a utilizar em cada dia de rega. A soma das irrigações corresponde às necessidades teóricas da cultura para os tais 100% de eficiência de rega.

Momentos e Intervalos entre regas no pressuposto de que se rega sempre que a água retida no solo atinge a RFU

2016



2017



Os gráficos anteriores indicam-nos os momentos (Quando?) e as quantidades (Quanto?) que se deve regar. O eixo dos Y representa o teor de água no solo em mm e o eixo dos X, os dias após a plantação. A linha de cima (a preto) representa a capacidade de campo, a linha castanha a depleção máxima de água permitida e a linha a verde o coeficiente de emurchecimento. As barras a encarnado representam a evolução do teor de água no solo, teor este que deve ser sempre mantido entre CC e a RFU. Sempre que o teor de água no solo atinge o limite da RFU, desencadeia-se uma rega na quantidade de água necessária para repor o armazenamento na CC. Deste modo, os gráficos também nos indicam em que dias e com que intervalos se deveria regar.

5.3. Resultados do CROPWAT relativos à Cultura do Girassol nos anos de 2016 e 2017

Estimativa dos requisitos teóricos de irrigação para satisfazer completamente as necessidades hídricas da cultura do girassol

2016

ETo station		Lezirias	Crop		GIRASSOL		
Rain station		Lezirias 2016	Planting date		01/05		
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
May	1	Init	0.35	1.79	17.9	43.4	0.0
May	2	Init	0.35	1.97	19.7	48.2	0.0
May	3	Deve	0.39	2.33	25.7	32.2	0.0
Jun	1	Deve	0.62	3.82	38.2	0.7	37.5
Jun	2	Deve	0.85	5.51	55.1	0.0	55.1
Jun	3	Mid	1.08	7.13	71.3	0.0	71.3
Jul	1	Mid	1.16	7.91	79.1	0.1	79.0
Jul	2	Mid	1.16	8.09	80.9	0.1	80.9
Jul	3	Mid	1.16	7.80	85.8	0.1	85.8
Aug	1	Mid	1.16	7.48	74.8	0.1	74.7
Aug	2	Late	1.07	6.66	66.6	0.1	66.5
Aug	3	Late	0.74	4.38	48.2	0.2	48.0
Sep	1	Late	0.45	2.55	17.8	0.0	17.8
					681.1	125.0	616.5

2017

ETo station		Lezirias	Crop		GIRASSOL		
Rain station		LEZIRIAS 2017	Planting date		21/04		
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Apr	3	Init	0.35	1.89	18.9	1.1	17.9
May	1	Init	0.35	2.05	20.5	10.6	9.8
May	2	Deve	0.39	2.43	24.3	15.6	8.7
May	3	Deve	0.61	4.10	45.1	10.6	34.5
Jun	1	Deve	0.86	6.25	62.5	1.7	60.8
Jun	2	Mid	1.10	8.49	84.9	0.0	84.9
Jun	3	Mid	1.18	8.84	88.4	0.5	87.9
Jul	1	Mid	1.18	8.45	84.5	3.3	81.2
Jul	2	Mid	1.18	8.21	82.1	4.6	77.5
Jul	3	Mid	1.18	7.94	87.3	3.4	83.9
Aug	1	Late	1.09	7.06	70.6	1.9	68.8
Aug	2	Late	0.77	4.79	47.9	0.9	47.0
Aug	3	Late	0.47	2.81	22.5	0.5	21.8
					739.6	54.7	684.7

Verifica-se que os requisitos de irrigação são maiores em 2017, uma vez que, nesse ano, a precipitação foi inferior e a evapotranspiração foi **maior do que em 2016**. Os resultados apontam para necessidades hídricas teóricas da cultura do girassol da ordem dos **617 mm** em 2016 e **685 mm** em 2017.

Estimativa das necessidades teóricas de irrigação

2016

ETo station	Lezirias	Crop	GIRASSOL	Planting date	01/05	Yield red.
Rain station	Lezirias 2016	Soil	Heavy (clay)	Harvest date	07/09	0.0 %

Table format

☒ Irrigation schedule Timing: [Irrigate at critical depletion](#)

☐ Daily soil moisture balance Application: [Refill soil to field capacity](#)

Field eff. 100 %

Totals					
Total gross irrigation	571.1	mm	Total rainfall	171.2	mm
Total net irrigation	571.1	mm	Effective rainfall	52.8	mm
Total irrigation losses	0.0	mm	Total rain loss	118.4	mm
Actual water use by crop	678.6	mm	Moist deficit at harvest	54.6	mm
Potential water use by crop	678.6	mm	Actual irrigation requirement	625.7	mm
Efficiency irrigation schedule	100.0	%	Efficiency rain	30.9	%
Deficiency irrigation schedule	0.0	%			

Yield reductions						
Stagelabel	A	B	C	D	Season	
Reductions in ETc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
Yield response factor	0.20	1.00	0.80	0.20	0.95	
Yield reduction	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
Cumulative yield reduction	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%

2017

ETo station	Lezirias	Crop	GIRASSOL	Planting date	21/04	Yield red.
Rain station	LEZIRIAS 2017	Soil	Heavy (clay)	Harvest date	28/08	0.0 %

Table format

☒ Irrigation schedule Timing: [Irrigate at critical depletion](#)

☐ Daily soil moisture balance Application: [Refill soil to field capacity](#)

Field eff. 100 %

Totals					
Total gross irrigation	576.5	mm	Total rainfall	68.7	mm
Total net irrigation	576.5	mm	Effective rainfall	66.5	mm
Total irrigation losses	0.0	mm	Total rain loss	2.2	mm
Actual water use by crop	736.8	mm	Moist deficit at harvest	93.9	mm
Potential water use by crop	736.8	mm	Actual irrigation requirement	670.3	mm
Efficiency irrigation schedule	100.0	%	Efficiency rain	96.8	%
Deficiency irrigation schedule	0.0	%			

Yield reductions						
Stagelabel	A	B	C	D	Season	
Reductions in ETc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
Yield response factor	0.20	1.00	0.80	0.20	0.95	
Yield reduction	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%
Cumulative yield reduction	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	%

Através das imagens anteriores, referentes às tabelas das “saídas” do CROPWAT, ficamos a saber quais as necessidades teóricas de irrigação, contando já com as perdas de precipitação e o déficit de água à colheita. No entanto, estes ainda não são os valores finais que devemos considerar, pois este cálculo foi efetuado considerando uma eficiência de rega é 100%. No quadro seguinte, apresentam-se os valores das necessidades hídricas teóricas considerando as eficiências dos métodos de rega efetivamente utilizados.

Quadro 16- Necessidades teóricas de irrigação para a cultura do girassol, nos anos de 2016 e 2017

Ano	Necessidades hídricas (mm)	Eficiência de rega	Necessidades de irrigação (mm)
2016	571.1	85%	672
2017	576.5		678

Dias do mês correspondente aos dias do ciclo que se deve regar consoante RFU

2016

ETo station	Lezirias	Crop	GIRASSOL	Planting date	01/05	Yield red.					
Rain station	Lezirias 2016	Soil	Heavy (clay)	Harvest date	07/09	0.0 %					
Table format											
<input checked="" type="radio"/> Irrigation schedule		Timing: Irrigate at critical depletion									
<input type="radio"/> Daily soil moisture balance		Application: Refill soil to field capacity									
		Field eff. 100 %									
Date	Day	Stage	Rain	Ks	Eta	Depl	Net Irr	Deficit	Loss	Gr. Irr	Flow
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
15 Jun	46	Dev	0.0	1.00	100	48	76.7	0.0	0.0	76.7	0.19
27 Jun	58	Dev	0.0	1.00	100	45	77.4	0.0	0.0	77.4	0.75
8 Jul	69	Mid	0.0	1.00	100	49	84.5	0.0	0.0	84.5	0.89
18 Jul	79	Mid	0.0	1.00	100	47	80.5	0.0	0.0	80.5	0.93
28 Jul	89	Mid	0.0	1.00	100	46	78.6	0.0	0.0	78.6	0.91
8 Aug	100	Mid	0.0	1.00	100	48	83.1	0.0	0.0	83.1	0.87
22 Aug	114	End	0.0	1.00	100	52	90.2	0.0	0.0	90.2	0.75
7 Sep	End	End	0.0	1.00	0	32					

2017

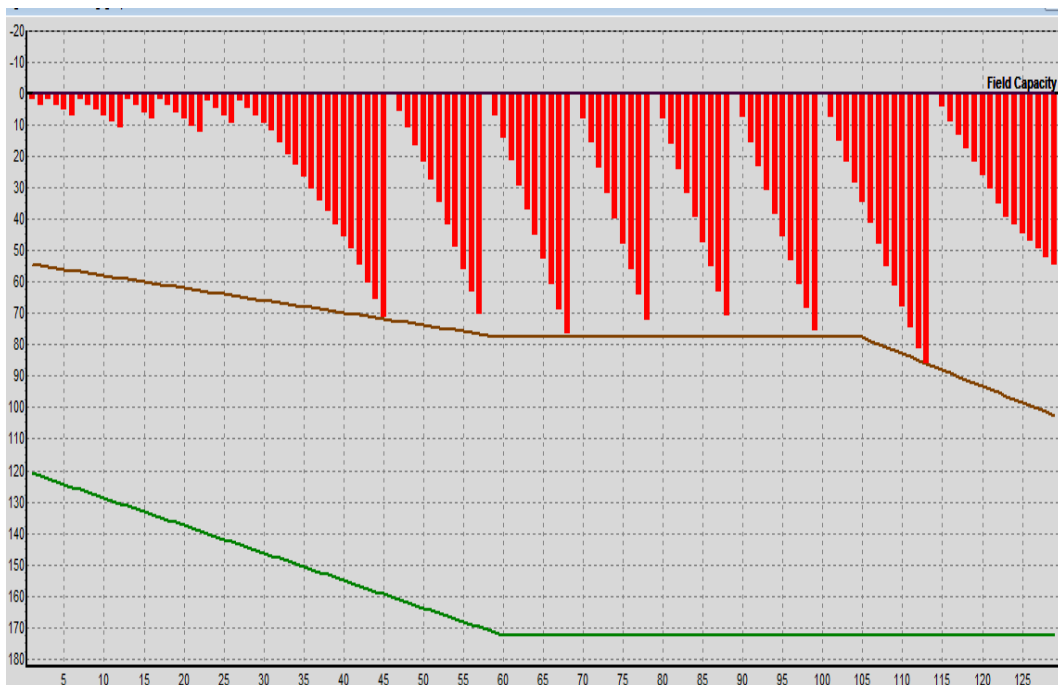
ETo station	Lezirias	Crop	GIRASSOL	Planting date	21/04	Yield red.
Rain station	LEZIRIAS 2017	Soil	Heavy (clay)	Harvest date	28/08	0.0 %
Table format		Timing: Irrigate at critical depletion Application: Refill soil to field capacity Field eff. 100 %				
<input checked="" type="radio"/> Irrigation schedule <input type="radio"/> Daily soil moisture balance						

Date	Day	Stage	Rain	Ks	Eta	Depl	Net Irr	Deficit	Loss	Gr. Irr	Flow
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
2 Jun	43	Dev	0.0	1.00	100	47	73.9	0.0	0.0	73.9	0.20
14 Jun	55	Dev	0.0	1.00	100	49	82.9	0.0	0.0	82.9	0.80
24 Jun	65	Mid	0.0	1.00	100	50	86.0	0.0	0.0	86.0	1.00
4 Jul	75	Mid	0.0	1.00	100	49	84.4	0.0	0.0	84.4	0.98
14 Jul	85	Mid	0.0	1.00	100	46	78.6	0.0	0.0	78.6	0.91
25 Jul	96	Mid	0.0	1.00	100	49	83.9	0.0	0.0	83.9	0.88
6 Aug	108	End	0.0	1.00	100	50	86.7	0.0	0.0	86.7	0.84
28 Aug	End	End	0.0	1.00	0	54					

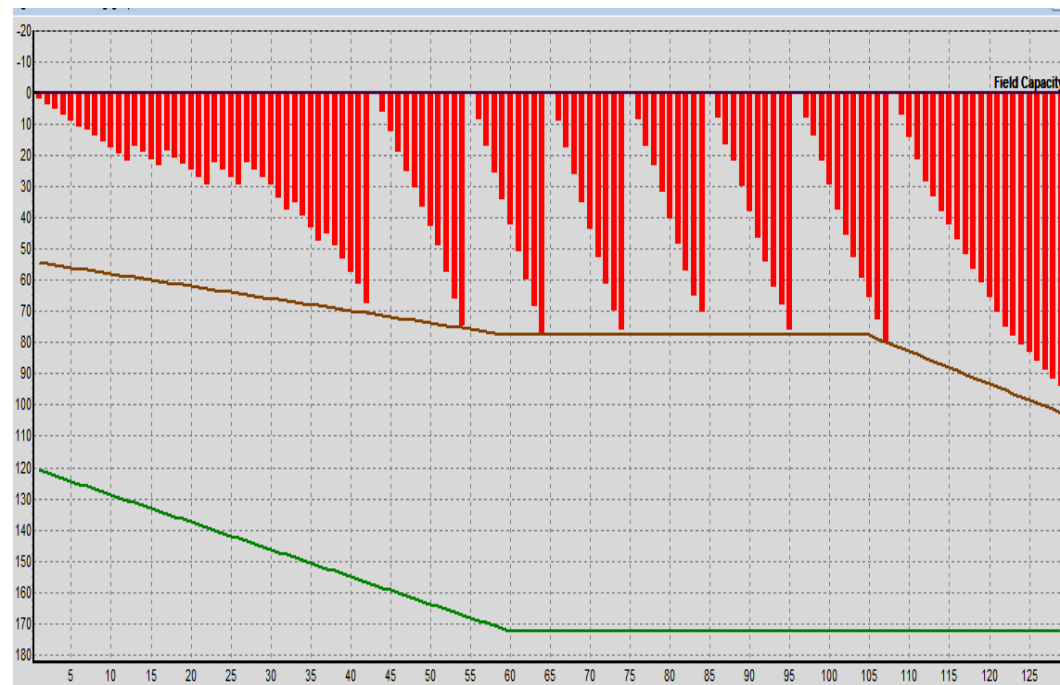
Nestas tabelas observamos a quantidade de água a utilizar em cada dia que se rega. A soma das irrigações corresponde às necessidades **teóricas** da cultura para os tais 100% de eficiência de rega.

Momentos e Intervalos entre regas no pressuposto de que se rega sempre que a água retida no solo atinge a RFU

2016



2017



Os gráficos anteriores indicam-nos os momentos (Quando?) e as quantidades (Quanto?) que se deve regar. O eixo dos Y representa o teor de água no solo em mm e o eixo dos X, os dias após a plantação. A linha de cima (a preto) representa a capacidade de campo, a linha castanha a depleção máxima de água permitida e a linha a verde o coeficiente de emurchecimento. As barras a encarnado representam a evolução do teor de água no solo, teor este que deve ser sempre mantido entre CC e a RFU. Sempre que o teor de água no solo atinge o limite da RFU, desencadeia-se uma rega na quantidade de água necessária para repor o armazenamento na CC. Deste modo, os gráficos também nos indicam em que dias e com que intervalos se deveria regar.

5.4. Dotações observadas das culturas nos anos de 2016 e 2017

Para a estimativa das dotações de água de rega em cada ano utilizaram-se os dados referentes a 3 parcelas de tomate, 3 de milho e 3 de girassol, com as características apresentadas nos quadros a baixo.

Quadro 17 - Dotações de água para rega observados em diversas parcelas, no ano de 2016.

2016						
Parcela nº	Cultura	Área (ha)	Consumo de água registado (mm)	Sistema de rega	Eficiência da rega	Tipo de solo
1(H210)	Tomate	55.79	359	Gota-a-gota	90%	Ac
2(H214)		24.83	438	Gota-a-gota	90%	Asac
3(H115)		13.85	560	Gota-a-gota	90%	Ac
4(H441)	Milho	28.5	407	Aspersão	85%	Asa
5(H105)		9.72	447	Gota-a-gota	90%	Ac(h)
6(H212)		13	635	Aspersão	85%	Ac(h)
7(H208)	Girassol	22.7	303	Aspersão	85%	Asac
8(H223)		17	440	Aspersão	85%	Asa
9(H224)		28.1	600	Aspersão	85%	Asac

Quadro 18 - Dotações de água para rega observados em diversas parcelas, no ano de 2017.

2017						
Parcela nº	Cultura	Área (ha)	Consumo de água registado (mm)	Sistema de rega	Eficiência da rega	Tipo de solo
1 (H210)	Tomate	55.79	369.6	Gota-a-gota	90%	Ac
2 (H214)		24.83	465.8	Gota-a-gota	90%	Asac
3 (H115)		13.85	515.7	Gota-a-gota	90%	Ac
4 (H209)	Milho	11.01	1520	Aspersão	85%	Caac
5 (H114)		12.00	559.4	Gota-a-gota	90%	Asac
6 (H441)		28.5	455.7	Aspersão	85%	Asa
7 (H439)	Girassol	15.83	508	Aspersão	85%	Asac
8 (H220)		30.17*	412.7	Aspersão	85%	Asa
9 (H401A)		31.71*	569.2	Aspersão	85%	Caac

A legenda do tipo de solo encontra-se no quadro 6, na página 39.

Com o auxílio do programa CROPWAT vou conseguir fazer a comparação das necessidades teóricas de rega com os consumos hídricos reais registados, e verificar qual foi a eficiência efetivamente alcançada. Como já antes dissemos a eficiência de rega depende do sistema utilizado, pelo que considerámos: 90% para a rega localizada e 85% para a rega por aspersão.

Quadro 19 - Valores médios dotações de rega registados por cultura e por método de rega nos anos de 2016 e 2017.

Culturas e Sistema de rega	Média das dotações registados (mm)			
	Ano de 2016		Ano de 2017	
	Rega por aspersão	Rega Localizada	Rega por aspersão	Rega Localizada
Milho	521,00	447,00	988,00	559,40
Tomate	-	452,00	-	450,00
Girassol	447,67	-	497,00	-

Quadro 20 - Estimativas das necessidades teóricas de água de rega por cultura e por método de rega nos anos de 2016 e 2017.

Culturas e Sistema de rega	Média das necessidades teóricas (mm)			
	Ano de 2016		Ano de 2017	
	Rega por aspersão	Rega Localizada	Rega por aspersão	Rega Localizada
Milho	744	702	730	690
Tomate	-	820	-	889
Girassol	672	-	678	-

O Quadro seguinte regista as diferenças positivas (+) ou negativas (-) entre as quantidades de água efetivamente aplicadas e as quantidades de água teoricamente necessárias para suprir integralmente as necessidades hídricas das culturas.

Quadro 21 - Estimativas de défices (-) ou de excessos (+) de consumo de água de rega por cultura e por método de rega nos anos de 2016 e 2017.

Culturas e Sistema de rega	Valores médios dos défices ou dos excessos (mm)			
	Ano de 2016		Ano de 2017	
	Rega por aspersão	Rega Localizada	Rega por aspersão	Rega Localizada
Milho	-223	-255	+ 258	-137
Tomate	-	-368	-	-439
Girassol	-224	-	- 181	-

Através da análise dos valores registados nos quadros anteriores, conclui-se que, à exceção da cultura do milho por aspersão no ano de 2017, os valores efetivamente regados foram sempre inferiores às estimativas teóricas, para cobrir a totalidade das necessidades hídricas das culturas. Tal facto, terá certamente levado a perdas de produtividade, por comparação com a produtividade máxima alcançável na região.

Segue-se, uma estimativa das perdas de produção que poderão ter ocorrido, em consequência do défice hídrico a que terão sido sujeitas as diversas culturas.

Para esse cálculo recorreremos à seguinte equação, já apresentada no ponto 3.7 deste trabalho:

$$\left(1 - \frac{Pa}{Pm}\right) = K_y \left(1 - \frac{ETc}{ETc_{adj}}\right)$$

Na qual considerámos o valor de P_m – produção máxima [kg/ha] para as três culturas de:

$$\text{Tomate} - P_m = 120.000 \text{ kg.ha}^{-1}$$

$$\text{Milho} - P_m = 15.000 \text{ kg.ha}^{-1}$$

$$\text{Girassol} - P_m = 4.000 \text{ kg.ha}^{-1}$$

E o valor de K_y – sensibilidade ao défice hídrico para as três culturas de:

$$\text{Tomate} - K_y = 1,05$$

$$\text{Milho} - K_y = 1,25$$

$$\text{Girassol} - K_y = 0,95$$

A equação acima apresentada estabelece a relação entre o défice de produção e o défice hídrico. A constante de proporcionalidade (K_y) capta a sensibilidade da resposta produtiva da cultura, onde ocorrem processos biológicos, físicos e químicos, ao défice hídrico, medido através da diferença entre a evapotranspiração potencial da cultura e a evapotranspiração real (FAO, 2012).

Quadro 22 - Estimativas de perdas de produção por cultura e por método de rega nos anos de 2016 e 2017.

Culturas e Sistema de rega	Valores estimados das perdas (kg.ha ⁻¹)			
	Ano de 2016		Ano de 2017	
	Rega por aspersão	Rega Localizada	Rega por aspersão	Rega Localizada
Milho	5822	7528	-	5273
Tomate	-	39788	-	40083
Girassol	1651	-	1375	-

Por último, decidimos estimar os impactes económicos resultantes da perda de produção (diminuição da receita) ou do excesso de aplicação de água (desperdício de recurso e aumento do custo) para cada ano, cultura e sistema de rega. Para isso, considerámos os seguintes pressupostos relativos aos preços das produções e aos custos unitários da água de rega.

Quadro 23 - Pressupostos de preços unitários dos produtos e do mm de água fornecida para rega.

Produtos principais	Valores de base considerados			
	Ano de 2016		Ano de 2017	
	Preço do produto (€/kg)	Preço da água (€/mm)	Preço do produto (€/kg)	Preço da água (€/mm)
Grão de milho	0,17	0,47	0,17	0,47
Tomate para indústria	0,09		0,09	
Grão de girassol	0,20		0,20	

Com estes pressupostos, aqueles impactos negativos assumiram os seguintes montantes:

Quadro 24 - Estimativas dos ganhos económicos previsivelmente alcançados através da satisfação integral das necessidades hídricas por cultura e por método de rega nos anos de 2016 e 2017.

Culturas e Sistema de rega	Valores estimados dos ganhos económicos (€/ha ⁻¹)			
	Ano de 2016		Ano de 2017	
	Rega por aspersão	Rega Localizada	Rega por aspersão	Rega Localizada
Milho	885	1.160	121	835
Tomate		3.408	-	3.401
Girassol	225	-	190	-

Houve sempre perdas económicas por rega deficitária, tirando o caso do milho por aspersão em 2017, em que a rega pecou por excesso. Neste último caso a perda económica foi estimada em 121 euros/ha, valor este correspondente ao custo da água aplicada em excesso. Todas as outras estimativas de perda económica foram efetuadas considerando a diferença entre a receita real alcançada e a receita máxima potencial, deduzindo os custos da água em falta. Por exemplo, no caso do milho com rega por aspersão e no ano de 2016, o cálculo foi o seguinte:

a) Estimativa do acréscimo de custo por via do aumento da água de rega:

Água necessária para satisfazer plenamente as necessidades hídricas da cultura (744mm) - Água efetivamente aplicada (521mm) = 223 mm

Custo da Água necessária para satisfazer plenamente as necessidades hídricas da cultura (349,68 €) - Custo da Água efetivamente aplicada (244,87 €)
=104,81€

b) Estimativa do acréscimo de receita por via do aumento da água de rega:

Produtividade Potencial (15.000 kg/ha) - Produtividade real (9.177 kg/ha)=
 5.822 kg/ha

Acréscimo de receita = 5822 kg/há x 0,17 €/kg = 989,8 €/ha

c) Daqui se conclui que o ganho potencial resultante da plena satisfação das necessidades hídricas da cultura do milho com rega por aspersão no ano de 2016 seria de 989,8 €/há – 104,81 €/há = **885 €/ha**.

6 Discussão e conclusões

Através da comparação das dotações de rega com as necessidades teóricas de cada cultura, concluímos que a quantidade de água fornecida às culturas não tem sido a adequada, sendo, regra geral, deficitária, e resultando em perdas de produção elevadas. Da análise cultura a cultura podemos acrescentar:

Tomate

O consumo hídrico real do tomate, rondou os mesmos valores em 2016 e 2017, sendo de 452mm e de 450mm, respetivamente. Por sua vez, as necessidades teóricas estimadas foram de 820mm para 2016 e de 889 para 2017.

Estes valores apontam para a existência de um défice hídrico a rondar os 32%, o que corresponde a um défice de produção 33%. Assumindo uma produção máxima local de 120 toneladas por hectare, aquele défice ter-se-á traduzido numa perda de produção de cerca de 40 toneladas.

Assumindo um preço de 90€/ton, o rendimento máximo bruto do tomate seria de 10.800€/ha. No entanto, com a perda de produção devida ao défice hídrico (as 40 toneladas acima apuradas), a receita real terá sido de apenas 7.200€/ha.

A conjugação de tudo isto, ou seja, do acréscimo de custos com a aplicação de mais água e o aumento de receita por via do acréscimo de produção, redundaria numa melhoria do rendimento económico de +3408 €/ha em 2016 e +3401€/ha em 2017.

Todos estes valores podem ser verificados no anexo 1.

Milho

No caso do milho, temos de fazer a distinção entre os dois tipos de rega praticados.

Para a rega localizada o consumo hídrico real em 2016 e 2017 foi de 447mm e 559mm, respetivamente. Sendo as necessidades teóricas estimadas para aquelas duas campanhas de 702 e 690mm, respetivamente. A partir destes dados, estimámos os défices hídricos em 40%, para 2016, e em 28%, para 2017. Assumindo uma produção máxima local de 15 toneladas de milho grão por hectare, aqueles défices ter-se-ão traduzido numa perda de produção de 7,528 ton/ha (50%) e 5,273 ton/ha (35%), respetivamente.

Relativamente à rega por Pivot, o consumo hídrico real em 2016 e 2017 foi de 521mm e 988mm, respetivamente. As necessidades teóricas estimadas para aquelas duas campanhas foram de 744 e 730mm, respetivamente. Destes dados, resultam a estimativa de ocorrência de um défice hídrico de 30% em 2016, e de um excesso de aplicação de água de rega de 35% em 2017.

Assumindo uma produção máxima local de 15 toneladas por hectare e um preço de 170€/ton, o rendimento máximo bruto do milho seria de 2.550€/ha. No entanto com a perda de produção devida ao défice hídrico registado em ambas tecnologias de rega, o rendimento bruto efetivamente alcançado no sistema de rega localizada foi apenas de 1.270 €/ha em 2016 e de 1.654€/ha em 2017, e de 1.560€/ha na rega por pivot em 2016.

A conjugação de tudo isto, ou seja, do acréscimo de custos com a aplicação de mais água e o aumento de receita por via do acréscimo de produção (observados no sistema de rega localizada em 2016 e 2017 e no sistema de rega por pivot em 2016) ou a redução do desperdício de água (observado no sistema de rega por pivot em 2017), redundaria numa melhoria do rendimento económico da cultura de +885 €/ha em 2016 e de +121 €/ha em 2017, para a rega por pivot, e de +1160 €/ha em 2016 e de +835 €/ha em 2017 para a rega localizada.

Todos estes valores podem ser verificados nos anexos 2 e 3.

Girassol

O consumo hídrico real da cultura do girassol foi de 406mm em 2016 e de 448mm em 2017. As necessidades teóricas estimadas para os mesmos anos foram de 672mm e de 678mm, respetivamente.

Através da comparação dos valores acima referidos estima-se a existência de défices hídricos de cerca de 43% em 2016 e de 36% em 2017, a que terão correspondido défices de produção de 41% e 34%, respetivamente. Assumindo uma produção máxima local de 4 toneladas por hectare, aqueles défices de produção terão sido correspondentes a perdas de produção de cerca de 1.7 toneladas em 2016 e de 1.4 toneladas em 2017.

Assumindo que a produção máxima local é de 4 toneladas por hectare, e um preço de 200€/ton, o rendimento máximo bruto do girassol seria de 800€/ha. No entanto, com as perdas de produção estimadas, devidas à falta de água, a receita bruta efetivamente alcançada terá sido de apenas 469€/ha em 2016 e 525 €/há em 2017.

A conjugação de tudo isto, ou seja, do acréscimo de custos com a aplicação de mais água e o aumento de receita por via do acréscimo de produção, redundaria numa melhoria do rendimento económico de +225 €/ha em 2016 e +190 €/ha em 2017.

Todos estes valores podem ser verificados no anexo 4.

Proposta de medidas

Para que se possa melhorar a eficiência do uso da água, uma boa contabilização da água fornecida é essencial. Nesse sentido, a instalação de contadores na entrada de cada parcela parece ser essencial para saber, ao certo, a quantidade de água fornecida a cada empresa agrícola localizada no aproveitamento. Para além disso, deve-se fazer um cadastro de cada parcela, ou seja, uma caracterização de cada parcela consoante sistema de rega, área, localização e cultura instalada. Só desta forma será possível fazer uma análise fidedigna da eficiência de uso da água em cada parcela/cultura e sistema de rega, e, a partir desses dados, montar um sistema de alerta e aconselhamento aos agricultores, e ainda serviços de aviso de rega, dizendo diariamente aos agricultores a quantidade de água a aplicar em função da cultura e método de rega.

Paralelamente, parece-nos ser adequado promover uma campanha de sensibilização dos agricultores para a probabilidade de escassez futura de água, de modo a incutir-lhes a necessidade de poupança, regando apenas o necessário, com métodos de rega mais eficientes.

Outro problema de natureza mais geral e estrutural, que embora não tenha sido estudado neste trabalho, mas que nos foi relatado pela Associação, prende-se com a necessidade de melhorar o controlo e a eficiência do sistema primário de transporte e distribuição da água no seio do aproveitamento hidroagrícola.

Conclusões finais

Da realização deste trabalho podemos inferir uma série de conclusões:

- Observa-se uma ineficiência de aplicação de água de rega em todos os casos, sendo que a situação predominante é a da rega por defeito, à exceção do caso do milho por aspersão no ano 2017, em que o volume de água de rega excedeu o necessário em 258mm.

- As referidas ineficiências traduzem-se, consoante as culturas e os sistemas de rega, em perdas de produtividade compreendidas entre os 33% e os 50%. No caso particular em que se regou por excesso, o desperdício de água foi estimado em 258mm, ou seja, num desperdício de 35%.
- Tudo isto tem várias repercussões económicas negativas que variam desde os 190€.ha⁻¹ para o girassol aos 3408 €.ha⁻¹ para o tomate.
- A situação aqui estudada aponta para a necessidade de melhorar a gestão da água tanto da associação como dos agricultores.
- As estimativas das necessidades hídricas teóricas calculadas com o CROPWAT podem estar por excesso, dado não considerar a ascensão capilar proveniente da toalha freática.

7. Referências bibliográficas

- ABLGVBX (2010). *Contrato de concessão relativo à utilização dos recursos hídricos para captação de águas superficiais destinadas à rega no aproveitamento hidroagrícola da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira*. Vila Franca de Xira, Portugal.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, m. (1998). *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. In: FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome, FAO.
- Almeida, D. (2006). *Manual de culturas hortícolas*. Vol II, 1st ed. Lisboa: Presença.
- APA (2002). Plano Nacional da Água. Agência Portuguesa do Ambiente. Lisboa, Portugal.
- Avillez, F. (2014). *A Agricultura Portuguesa: Caminhos para um Crescimento Sustentável*. Agro.Ges. Lisboa
- Associação de Beneficiários da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira (2017). *Plano de atividades e orçamento para 2018*. Vila Franca de Xira.
- Botelho da Costa, J. (1985). *Caracterização e constituição do solo*. FCG, Lisboa, 3ª edição.
- Brito Ramos, T., Gonçalves, M., Martins, J. e Santos Pereira, L. (2016). *Características de retenção de água no solo para utilização na rega das culturas*. Oeiras: Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P.
- Buol, S.W., Hole, F.D., McCracken., Southard, R.J. (1997). *Soil Genesis and Classification*. 4ª edition. Iowa State University Press/Ames.
- Coelho, J.C. (2017). *O Regadio na Cultura Arvense*. Disciplina de Culturas Arvenses e Forragens, ISA, Lisboa.
- Cunha, L. V., Gonçalves, A. S., Figueiredo, V. A. e Lino, M. (1980). *A Gestão da Água – Princípios Fundamentais e Sua Aplicação em Portugal*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa
- De Melo e Abreu, JP, Pereira, LS. (2010). Impactos e Vulnerabilidades da Agricultura Resultantes das Alterações Climáticas, pp. 159-163. In: Pereira LS, Victoria FRB, Paredes P, Garcia M, Palacios E, Torrecillas A (eds) 2010. *Tecnologias para o Uso Sustentável da Água em Regadio*. Edições Colibri e CEER, Lisboa.

- Doorenbos, J. y Pruitt, W.O. 1977. Requerimientos de agua en el cultivo. Estudio FAO: Riego y drenaje Nº 24. Roma, FAO
- Eco, U. (1997). *Como se faz uma tese em ciências humanas*. Editorial Presença. Lisboa.
- FAO (1979) - *Crop Evapotranspiration*. FAO, *Guidelines for computing crop water requirements*, 56. Food and Agriculture Organization of the United Nation. Roma.
- FAO (1998) – *Yield response to water*. FAO, *Irrigation and drainage*, 33. Food and Agriculture Organization of the United Nation. Roma.
- FAO (2002) Práticas de riego deficitario. Informes sobre el agua Nº 22. Roma.
- FAO (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO: Riego y Drenaje 66. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Roma.
- Fernandes, Rui (2016), *A matéria orgânica do solo* [Online]. Disponível em: http://www.inia.v.pt/fotos/editor2/materia_organica_do_solo.pdf
- Fitzpatrick, E.A (1980). *Soils. Their formation, classification and distribution*. New York: Longman Inc
- Gomes da Silva, F. (2016). *O grande utilizador de água - futuro do regadio*. Portal Agronegócios.eu. Lisboa.
- Gonçalves, A.D & Libardi, P.L. (2013). *Comissão 2.2- Física do solo*. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. R.Bras. Ci. Solo
- Hoekstra, A. Y., e Chapagain, A. L. (2008). *Globalization of Water: sharing the planet's freshwater resources*. Blackwell Publishing. Oxford, UK.
- IHERA e APRH (1999). *A agricultura portuguesa, a água e o ambiente*. Lisboa
- INE (2018). Boletim Mensal da Agricultura e Pescas. Instituto Nacional de Estatística. Lisboa, Portugal
- IPMA (2018). Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/> , consultado em 20 de março de 2018
- OECD (2012). *Environmental Outlook to 2050: the consequences of inaction*. OECD Publishing. Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico.
- OLIVEIRA, I. (2011) - *Técnicas de Regadio*. Vol. I e II, 2ª Edição, Lisboa.

- PEREIRA, L.S. (2004). *Necessidades de água e métodos de rega*. Publicações Europa-América. Lisboa.
- Ramos, P. (2011). *Balanço Hídrico e perda de solo em pastagens*. Mestre. Instituto Superior Técnico.
- Rasquilho Raposo, J. (1989). *A rega em Portugal*. Lisboa: Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação, Secretaria de Estado da Agricultura.
- Rego, C. U (1977). *A água a escassez na abundância*. Secretaria de Estado do Ambiente. Lisboa.
- Roberto Pereira, A. (2018). *Simplificando o Balanço Hídrico de Thornthwaite-Mather*. Agrometeorologia. Departamento de Ciências Exatas, Brasil. ESALQ-USP.
- Santos Pereira L, Mexia JT, Pires, CAL, eds. (2010) *Gestão do Risco em Secas, Métodos, tecnologias e desafios*. Lisboa, Portugal. Colibri e CEER.
- Selborne, R. (2002). *A ética do uso da água doce*. Brasília. Unesco.
- Shahidian, Shakib, *Gestão da água no Regadio* [Online]. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/7213/1/Capitulo%209%20Gestao%20da%20C3%A1gua%20no%20regadio.pdf>
- Smith, M. (1992) CROPWAT. A computer programme for irrigation planning and management. En: Estudio FAO: Riego y drenaje N° 46. Roma, FAO.
- Stanhill, G., Lake, J.V. y Rudd-Jones, D. (1985) *The Water Resource for Agriculture. Philosophical Transactions*. Royal Society Biological Series. Londres 310:161-173.
- Teles Branco, M (2018). *A Obra de Rega do Vale Sorraia: da lógica inicial ao enquadramento legal e económico atual*. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, Portugal
- UNDESA (2011). World Population Prospects: The 2010 Revision. United Nations Department of Economic and Social Affairs. Disponível em <http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm>. Acesso a 6/06/2018
- WWAP (2009). The United Nations World Water Development Report 3: Water in a changing world. United Nations World Water Assessment Programme. UNESCO Publishing. Londres.
- WWC (2006). Local Actions for a Global Challenge – Final Report. Em: 4th World Water Forum. World Water Council e CONAGUA. México

- WWF (2015). Strengthening Water Stewardship in Agricultural Sustainability Standards – Framing collaborative solutions to mitigate water risks. World Wildlife Fund. Germany
- Yazar, A., Kamber, R. & Ozekýcý, B. (1996) - Irrigation scheduling in the agronomic practice. In: Pereira et al (eds.), *Sustainability of Irrigated Agricultur*. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.

ANEXOS

Anexo 1- Cálculos para a cultura do tomate.

TOMATE																					
Ano	Consumo real (mm)	Ef. Rega	Necessidade teorica	Diferença	DH	Ky	DP	Pmax (kg)	Palcançada	Perdas	Excesso	Preço água (\$/mm)	Custo água necessaria	Custo água aplicada	Diferença dos custos	Preço venda (\$/kg)	Receita para Pmax	Acréscimo da receita (\$/ha)	Receita	Margem (Receita-custos água)	Ganho potencial \$/há
2016	452	0,9	820	-368	0,32	1,05	0,33	120.000	80.212,26	39.787,74	0	0,47	385,40	212,44	172,96	0,09	10.800	3.580,90	7.219,10	7.006,66	3.407,94
2017	450	0,9	889	-439	0,32	1,05	0,33	120.000	79.916,56	40.083,44	0	0,47	417,83	211,50	206,33	0,09	10.800	3.607,51	7.192,49	6.980,99	3.401,18

Anexo 2- Cálculos para a cultura de milho 2016.

MILHO 2016																					
Tipo rega	Consumo real (mm)	Ef. Rega	Necessidad e teorica	Diferença	DH	Ky	DP	Pmax (kg)	Palcançada	Perdas	Excesso	Preço água (\$/mm)	Custo água necessaria	Custo água aplicada \$	Diferença dos custos	Preço venda (\$/kg)	Receita para Pmax	Acréscimo da receita (\$/ha)	Receita	Margem (Receita-custos água)	Ganho potencial \$/há
Localizada	447	0,90	702	-255	0,40	1,25	0,50	15.000	7.471,82	7.528,18	0	0,47	329,94	210,09	119,85	0,17	2.550	1.279,79	1.270,21	1.060,12	1.159,94
Aspersao	521	0,85	744	-223	0,31	1,25	0,39	15.000	9.177,77	5.822,23	0	0,47	349,68	244,87	104,81	0,17	2.550	989,78	1.560,22	1.315,35	884,97

Anexo 3- Cálculos para a cultura de milho 2017.

MILHO 2017																					
Tipo rega	Consumo real (mm)	Ef. Rega	Necessidad e teorica	Diferença	DH	Ky	DP	Pmax (kg)	Palcançada	Perdas	Excesso	Preço água (\$/mm)	Custo água necessaria	Custo água aplicada	Diferença dos custos	Preço venda (\$/kg)	Receita para Pmax	Acréscimo da receita (\$/ha)	Receita	Margem (Receita-custos água)	Ganho potencial \$/há
Localizada	559	0,90	690	-131	0,28	1,25	0,35	15.000	9.727,02	5.272,98	0	0,47	324,30	262,73	61,57	0,17	2.550	896,41	1.653,59	1.390,86	834,84
Aspersão	988	0,85	730	258	0	1,25	0	15.000	15.000	0	258	0,47	343,10	464,36	-121,26	0,17	2.550	121,26	2.550,00	2.085,64	121,26

Anexo 4- Cálculos para a cultura do girassol.

GIRASSOL																					
Ano	Consumo real (mm)	Ef. Rega	Necessidad e teorica	Diferença	DH	Ky	DP	Pmax (kg)	Palcançada	Perdas	Excesso	Preço água (\$/mm)	Custo água necessaria	Custo água aplicada	Diferença dos custos	Preço venda (\$/kg)	Receita para Pmax	Acréscimo da receita (\$/ha)	Receita	Margem (Receita-custos água)	Ganho potencial \$/há
2016	448	0,85	672	-224	0,43	0,95	0,41	4.000	2.349,20	1.650,80	0	0,47	315,84	210,56	105,28	0,20	800	330,16	469,84	259,28	224,88
2017	497	0,85	678	-181	0,36	0,95	0,34	4.000	2.624,92	1.375,08	0	0,47	318,66	233,59	85,07	0,20	800	275,02	524,98	291,39	189,95